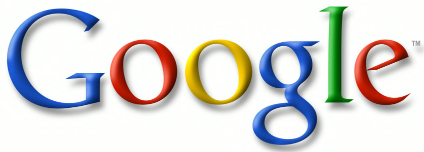
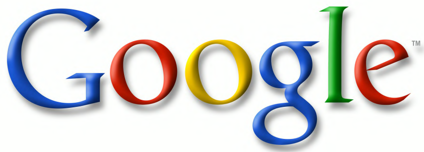




HARVARD UNIVERSITY



BERNHARD KUMMEL LIBRARY
OF THE
GEOLOGICAL SCIENCES

ANNALES

DES MINES,

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RAPPORTENT;

RÉDIGÉES

Par les Ingénieurs des Mines,

ET PUBLIÉES

Sous l'autorisation du Ministre des Travaux Publics.

QUATRIÈME SÉRIE.

TOME XX.

PARIS.

CARILIAN-GŒURY ET Vve DALMONT,

LIBRAIRES DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49.

1851

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les *Annales des Mines* sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et du chef de la division des mines :

MM.

Cordier, insp. gén., membre de l'Acad. des Sciences, prof. de géologie au Muséum d'hist. naturelle, président.

De Bonnard, insp. gén., membre de l'Acad. des Sciences.

Migneron, inspecteur général.

Chéron, inspecteur général.

Dufrénoy, insp. gén., directeur de l'Ecole des mines, membre de l'Acad. des sciences, prof. de minéralogie au Muséum d'histoite naturelle.

Élie de Beaumont, insp. général, memb. de l'Acad. des sciences, prof. de géologie au Collége de France et à l'École des mines.

Thirria, inspecteur général.

Combes, inspecteur général. membre de l'Académie des Sciences, professeur d'exploitation des mines.

MM.

Levallois, ingénieur en chef, secrétaire du conseil général.

Le Play, ingénieur en chef, professeur de métallurgie.

De Boureuille, ingén. en chef, chef de la division des Mines.

Michel Chevalier, ing. en chef, prof. d'économie politique au Collége de France.

De Sénarmont, ingénieur en chef, professeur de minéralogie.

Reynaud, ing., prof. d'économie et de législation des mines.

Ebelmen, ing., prof. de chimie à l'Ecole des mines et de céramique au Conservatoire des arts et métiers.

De Cheppe, ancien chef de la division des mines.

Couche, ing., prof. de chemins de fer et de construction, secrétaire de la commission.

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des *Annales des Mines*, pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics, à M. le secrétaire de la commission des Annales des Mines*, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 10 exemplaires de leurs articles. Ces exemplaires leur sont distribués par les soins de M. le secrétaire de la commission. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 10 fr. par feuille pour le premier cent, et de 5 fr. pour les suivants.

La publication des *Annales des Mines* a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les trois livraisons d'un même semestre forment un volume. — Les deux volumes composant une année contiennent de 80 à 90 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an, pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Cᵉ, rue Racine, 26.

DESCRIPTION

DE LA MACHINE D'EXTRACTION

établie sur le puits Davy, de la compagnie d'Anzin.

Par feu M. MÉHU, directeur des travaux du jour
aux mines d'Anzin (1).

INTRODUCTION.

Les progrès que la mécanique fait tous les jours dans le domaine de l'industrie tendent principalement à ménager les forces de l'homme et surtout à remplacer ou à supprimer les travaux pénibles.

Parmi ceux qui attendent encore aujourd'hui des améliorations, on peut citer les moyens usités pour l'entrée et la sortie des ouvriers dans les mines. C'est, à notre avis, un point sur lequel on ne s'est pas assez appesanti ; car le travail auquel donnent lieu l'introduction et la sortie des ouvriers mineurs par les échelles, contribue plus que tous les autres travaux de mines à l'altération de leur santé.

L'emploi des câbles à cet usage peut bien éviter la fatigue des échelles; mais la rupture de ces câbles, malgré les plus grands soins, peut amener les accidents les plus graves; dans tous les cas, il

(1) Cette description est entièrement l'œuvre de M. Méhu. Ce regrettable ingénieur avait voulu ajourner toute publication sur son appareil jusqu'à l'instant où divers perfectionnements, dont il le jugeait susceptible, seraient réalisés. Il avait atteint ce but et terminé le travail qu'on va lire, lorsque la mort l'a frappé. C.

resterait encore à obvier à la perte de temps que ces deux modes occasionnent.

Nous pensons que la question qui nous occupe est d'une importance majeure et doit attirer l'attention des exploitants.

On sent d'ailleurs davantage, de jour en jour, la nécessité de recourir à des procédés plus en rapport avec le développement donné, dans ces derniers temps, aux travaux des mines, pour aller chercher la houille à de plus grandes profondeurs et en plus grande quantité.

Dans tous les temps les moyens de descente et de remonte des ouvriers sont restés les mêmes, et sont passés en habitude dans chaque localité. Ces moyens sont les échelles et les bennes ou tonneaux d'extraction.

C'est ainsi que, dans les bassins de la Loire et de tout le midi de la France, les ouvriers entrent et sortent des travaux par les bennes.

En Belgique, dans le bassin de Mons, c'est par les échelles, et par les tonneaux ou cufats dans ceux de Charleroy et de Liége.

En Angleterre on emploie les deux systèmes.

A Anzin et en Prusse notamment, les tonneaux sont interdits pour le passage des ouvriers; ce passage n'a lieu que par des échelles plus ou moins inclinées.

On voit qu'entre ces deux procédés il y a hésitation dans la préférence qu'on peut accorder à chacun d'eux, ce qui prouve assez leur imperfection.

De la descente par les câbles.

L'usage des câbles et des tonneaux est généralement preféré par les ouvriers qui s'habituent à braver le danger; mais il y a tant de causes d'accidents, et leurs conséquences sont si graves, qu'il

y a lieu de chercher sérieusement des moyens qui présentent plus de sécurité; d'autant plus que, par l'approfondissement successif des travaux, les dangers s'aggravent considérablement.

Ces dangers sont: la rupture des cordes et des machines, la rencontre des tonnes, la chute des corps, puis enfin l'inattention des mécaniciens qui peuvent faire passer les tonnes avec les personnes qu'elles contiennent au-dessus des poulies ou bien les faire descendre dans l'eau des puisards, etc.

Cette méthode entraîne encore de nombreux inconvénients, attendu que pour introduire et sortir cent cinquante ouvriers seulement à la profondeur de 500 mètres, par exemple, il faut au moins cinq à six heures pour le double voyage. Un semblable retard est trop préjudiciable pour qu'on ne cherche pas à s'en affranchir.

De plus on remarque, 1° qu'on ne peut pas pousser aussi activement certains travaux qui ne souffrent pas de relâche dans leur exécution; 2° qu'il faut tenir en activité presque continuelle la machine et son personnel; enfin que les appareils, tels que les cordes et chaînes, que l'on emploie à cet usage, exigent un remplacement toujours anticipé sur le terme rigoureux de leur usure.

Enfin à ces causes de dépenses il faut ajouter que la quotité de l'extraction diminue à mesure que la profondeur s'accroît, tandis que le besoin de produire davantage se fait plus sentir.

De la descente par les échelles.

La descente et la sortie des mineurs par les échelles offrent moins de dangers que la méthode précédente : c'est pour cette raison qu'elle a été adoptée par la Compagnie d'Anzin; mais elle altère à la longue la santé du mineur, elle le prive

d'une portion de la force qu'il emploierait au travail, enfin elle cause à la Compagnie, outre ce préjudice, une dépense fort considérable à cause de l'indemnité de 0f.25c par journée de travail qu'elle paye à l'ouvrier occupé dans les puits de mine dont la profondeur dépasse 400 mètres.

C'est pour cent cinquante ou deux cents ouvriers une dépense qui, annuellement, s'élève à environ 12,000 francs par chaque puits de cette profondeur. Cette valeur représente donc le travail improductif dépensé en pure perte pour les puits profonds de la Compagnie d'Anzin.

Lorsque la profondeur a moins de 400 mètres on ne paye plus d'indemnité de descente aux ouvriers; cependant les travaux qui sont à 300 ou 400 mètres n'en exigent pas moins un travail considérable qui profiterait à l'exploitant si le mineur était introduit sans fatigue dans les travaux.

D'après ces considérations, l'établissement d'un bon système d'appareil qui permettrait de descendre et de remonter les ouvriers sans fatigue ni danger aurait une incontestable utilité.

Appareils existants.

Pendant que la Société polytechnique du Cornwall instituait des prix et en décernait plusieurs en 1834, pour donner l'impulsion à l'invention d'appareils propres à faire descendre l'ouvrier dans les mines et à l'en faire remonter sans fatigue; un appareil de cette nature était appliqué avec succès dans une des mines les plus profondes du Hartz: et plus récemment celui établi à Mariemont en Belgique, par M. Warocqué, a parfaitement résolu le problème; seulement il exige des frais d'établissement assez considérables et l'usage d'un puits exclusivement consacré aux ouvriers, in-

dépendamment des puits d'extraction; son application n'est véritablement utile que lorsqu'il peut être placé au centre d'un groupe d'exploitations.

Cette condition étant rarement remplie, il s'ensuit que l'emploi de l'appareil Warocqué sera toutoujours très-restreint.

Tel était l'état des systèmes connus, lorsque la Compagnie d'Anzin, qui désirait établir un des appareils employés au Hartz, se trouva arrêtée par la nécessité où elle aurait été de créer et de consacrer un puits spécial à chacune de ses fosses d'extraction.

C'est alors qu'elle nous posa le problème que nous nous sommes attaché à résoudre par l'étude d'un système aussi complet que possible, c'est-à-dire qui, en s'appliquant à l'entrée et à la sortie des ouvriers dans les mines, pût, en même temps, servir à l'extraction de la houille, etc.

La Compagnie d'Anzin encouragea nos efforts; elle n'hésita pas à nous confier l'exécution d'un appareil *en grand*, et à faire la dépense d'un essai dont le résultat lui était inconnu; nous lui témoignons, pour notre part, toute la reconnaissance qui lui en est due.

Nous sommes heureux de penser que la réussite de notre appareil rendra un jour le sort de l'ouvrier mineur plus doux, et exemptera sa vieillesse d'une cruelle maladie, l'asthme qui en est trop souvent le partage.

Cet appareil fonctionne depuis les premiers jours d'avril 1849 sur le puits Davy de la concession d'Anzin, et est connu sous le nom d'*appareil Méhu*, que lui a donné la Compagnie d'Anzin. Puits Davy

Ayant à remplir les conditions assez com-

plexes de l'épuisement des eaux, de l'extraction de la houille, de l'entrée et de la sortie des ouvriers dans les travaux, l'essai ne pouvait se faire que sur un puits tel que celui de Davy, qui était en creusement, où tout était encore à établir, et où l'on pouvait par conséquent tout disposer en vue de réussir l'application de ce nouveau système.

Le puits Davy est situé à 4 kilomètres à l'ouest de Valenciennes et sur le prolongement des exploitations de Saint-Vaast-là-Haut, division d'Anzin, et à 6 kilomètres à l'est de Denain.

Ce puits est en communication avec la ligne du chemin de fer d'Anzin à Denain.

Il a été creusé sur un diamètre de 3m.20 dans les angles du cuvelage qui est décagone; le diamètre dans la maçonnerie est à peu près le même.

Il est arrivé à la profondeur totale de 220 mètres.

Au niveau de 95 mètres est une galerie de communication et d'écoulement qui reçoit les eaux du fond des travaux pour les envoyer vers une machine d'épuisement qui les élève au jour.

A 135 mètres de profondeur est établi le premier niveau d'exploitation, c'est-à-dire que là se trouve un accrochage ou une place de recette pour engager les charbons dans l'appareil et les envoyer au jour.

A 166 mètres se trouve le deuxième accrochage : plus bas il n'y a pas encore de travaux d'exploitation préparés; cependant l'appareil descend jusqu'à 200 mètres de profondeur; il met en jeu une pompe qui élève les eaux jusqu'à la galerie d'écoulement, c'est-à-dire à 125 mètres de hauteur environ.

La quantité d'eau qui afflue dans les travaux est

d'environ 350 hectolitres par vingt-quatre heures: telles sont les conditions du puits Davy.

CHAPITRE Ier. — De l'appareil.

*L'*appareil que nous représentons en plan (*fig.* 1, *Pl. I*) et en élévation (*fig.* 1 et 2, *Pl. II*), se compose de quatre tirants reliés deux à deux et attelés aux quatre extrémités de deux chaînes de Vaucanson, passant sur deux plateaux polygonaux, calés sur le même arbre et recevant un mouvement de rotation d'une machine à vapeur dont il sera parlé plus loin. Ce mouvement se transmet verticalement aux deux chaînes et anime les quatre tirants de deux mouvements inverses, l'un montant et l'autre descendant, suivant que les roues polygonales qui portent la chaîne articulée tournent dans un sens ou dans un autre.

Les tirants se mouvant deux à deux sont séparés par des bois de refend M, N, qui portent des guides et divisent le puits en deux gaînes ou compartiments, qui servent l'un à l'ascension et l'autre à la descente des chariots.

Les tirants T, T (*Pl. I*, *fig.* 1) se meuvent dans le même sens.

Les tirants T', T' se meuvent ensemble et en sens inverse des premiers.

La *fig.* 1, *Pl. II*, indique la coupe d'un plateau polygonal X et la liaison des tirants T et T' avec la chaîne articulée; la *fig.* 2 représente la vue de face.

a, *a*, *a*, *a*, taquets simples (1) fixés sur des

(1) Nous appelons taquet une lame de fer représentée (*fig.* 2 et 3, *Pl. I*), qui est mobile autour d'un axe *i* et

traverses A, A, mobiles avec les tirants T, T, (*fig.* 1, *Pl. I*).

a', *a'*, *a'*, *a'*, taquets semblables aux premiers, mais fixés dans le puits sur les bois de refend M, M.

b, *b*, *b*, *b*, taquets à queues, boulonnés sur les traverses A', A', mobiles avec les tirants T', T', et obéissant aux leviers L, L, munis de contre-poids PP (*Pl. I*, *fig.* 1 et 4, et *Pl. III*, *fig.* 1, 2, 3, 4).

b', *b'*, *b'*, *b'*, taquets comme ceux ci-dessus fixés dans le puits sur les bois N, N et sollicités par le contre-poids P' à prendre la position indiquée *fig.* 4, *Pl. III.*

G, G, G, G, guides en bois cloués contre les bois de refend M et N, régnant du haut en bas du puits, afin de recevoir et de conduire l'extrémité des traverses A et A' : ils servent en même temps à guider les tirants T et T' (*fig.* 1, *Pl. I*).

G', G', G', G', guides en bois comme les premiers, mais servant à guider les chariots engagés dans l'appareil, tel qu'il est représenté par l'encadrement ponctué O et O'.

SS (*Pl I*, *fig.* 1 et *Pl III*, *fig.* 2), patins fixés dans le puits et faisant saillie de manière que dans le haut de la course de l'appareil ils soient rencontrés par les leviers L, L, qui font prendre aux taquets *b*, *b* la position indiquée en plan (*Pl. I*, *fig.* 1), et en élévation (*Pl. III*, *fig.* 2).

---

peut prendre la position ponctuée quand elle est soulevée, mais qui revient toujours dans la position horizontale une fois abandonnée à elle-même.

Il y a deux sortes de taquets, les simples (*fig.* 2 et 3) et les taquets à queues (*fig.* 4 et 5, *Pl. I*, et *fig.* 1, 2, 3, 4, *Pl. III*). On verra tout à l'heure l'usage de ces appareils.

L', L', leviers faisant tourner un arbre en fer D, au moyen duquel les taquets b', b', b', b' sont mis en jeu (*Pl. I*, *fig.* 1 et *Pl. III*, *fig.* 1, 2, 3, 4).

La *fig.* 4, *Pl. III*, représente la position des taquets b' lorsque le tirant T' est au haut de sa course, et la *fig.* 3, lorsque le tirant T' est au bas de sa course.

Q, Q, Q, Q (*Pl. I*, *fig.* 1 et *Pl. III*, *fig.* 2 et 4), touches en fer, qui en descendant s'appuient sur les leviers L', L', et font manœuvrer les taquets b', b', b', b'.

Les touches Q, Q et les leviers L', L' sont disposés alternativement à droite et à gauche de l'appareil : les leviers L, L et les patins S, S sont également disposés de chaque côté du poids P (voir le plan, *Pl. I*), afin que le jeu des taquets de deux étages successifs, se faisant dans des plans différents, les mouvements puissent se croiser sans difficultés et sans entraver la marche de l'appareil.

Cela posé, il est facile de comprendre les fonctions de ces diverses pièces.

La longueur des mouvements oscillatoires, ou la course de l'appareil, est proportionnée à la quantité de charbon que l'on veut extraire. Pour le puits Davy, dont le maximum de l'extraction ne sera jamais de plus de 1.500 hectolitres en douze heures de travail, il était nécessaire de donner une course très-allongée, afin de ne pas trop multiplier les étages et d'éviter ainsi une augmentation de dépense. Jeu de l'appareil.

Dans ce but, nous sommes arrivés à combiner un moteur qui permet d'imprimer à l'appareil un mouvement rectiligne de va-et-vient de 15^{m},408.

Le puits a été divisé par les bois de refend M, N en étages de 14^m,124 en 14^m,124, sur lesquels ont été posés les taquets *a'*, *a'*, *a'*, *a'* (côté de la remonte) et *b'*, *b'*, *b'*, *b'* (côté de la descente), qui sont, comme on l'a vu, fixés dans le puits.

Les tirants ont aussi été divisés, du haut en bas, en étages de 14^m,124, par les traverses A et A', qui portent les taquets *a*, *a*, *a*, *a* (côté de la remonte) et *b*, *b*, *b*, *b* (côté de la descente). Il en résulte que la course de l'appareil est plus longue que la distance qui sépare les étages, de 1^m,284. On comprend, d'après cela, que dans les mouvements oscillatoires les étages mobiles dépassent de 0^m,642 en haut, et de 0^m,642 en bas les étages fixes.

Voici le mouvement de l'appareil du côté montant: soit O un chariot qui monte avec les tirants mobiles T, T (*Pl. I*, *fig.* 1 et *Pl. II*, *fig.* 1); ce chariot dans son mouvement ascendant va rencontrer les taquets fixes supérieurs *a'*, *a'*, *a'*, *a'*, les soulever et leur faire prendre la position ponctuée *Pl. I*, *fig.* 3, pour passer au-dessus, et monter de 0^m,642 avant d'arriver à la fin de la course. Dans le mouvement rétrograde qui va suivre, l'appareil déposera le chariot sur les taquets *a'*, *a'*, qui ont repris leur position horizontale; les tirants et les taquets mobiles continuant à descendre rencontrent à l'étage inférieur un autre chariot, les taquets mobiles *a*, *a*, *a*, *a* se soulèvent pour prendre la position ponctuée *fig.* 2, *Pl. I*, passent au-dessous des chariots pour s'arrêter à 0^m,642 en contre-bas des taquets fixes; puis, dans le mouvement ascendant, le chariot va être saisi par les taquets mobiles pour être élevé encore d'un étage, pendant que le chariot qui a été élevé par l'oscillation précédente est pris de nou-

veau par les taquets supérieurs pour être aussi élevé d'un étage. Nous croyons inutile d'insister pour expliquer le jeu des taquets du côté de la descente, l'inspection des *fig.* 1 et 2, *Pl. II* et *fig.* 1, 2, 3, 4, *Pl. III*, suffit pour le faire comprendre.

Les taquets fixes dans le puits sont mus par un patin ou touche en fer Q, mobile avec les tirants.

D'après cela, on voit que toutes les manœuvres de l'ascension s'opèrent sans confusion, et que chaque étage de taquets peut être garni d'un chariot, de manière qu'à chaque oscillation de l'appareil il peut en arriver un plein au jour, tandis qu'un vide sera descendu au fond des travaux, comme on le verra plus bas, ce qui donnera lieu ainsi à une extraction continue de la houille.

Nous avons dit plus haut qu'il fallait donner une grande course à l'appareil du puits Davy, afin de ne pas outre passer les besoins de l'exploitation.

Or voici le résultat que l'on obtient :

Il faut un peu moins d'une minute pour exécuter une oscillation entière de l'appareil (montée et descente) (1), et il monte au jour soixante-cinq chariots de 2 hectolitres 1/2 de charbon par heure, ce qui fait 162 hectolitres, ou 1.625 pour dix heures de travail.

Ce produit étant plus élevé que les besoins de l'exploitation, il arrive souvent que les chariots ne sont introduits dans l'appareil que de deux en

(1) L'espace parcouru est de 15^{m},408 × 2 = 30^{m},826 qui s'exécute en 55″ environ, ce qui fait une vitesse moyenne de 0,56 par seconde.

férieur, celui de 166 mètres, ayant sa trappe fermée, celle supérieure est ouverte et empêche le chargeur du niveau de 135 mètres d'introduire ses chariots dans l'appareil, tandis que celui de 166 mètres expédie tout ce qu'il y a de charbon à sa disposition. Ce travail fait, et une fois le dernier chariot arrivé au-dessus de 135 mètres, il appuie sur son levier F, chargé d'un contre-poids *p*, qui équilibre une partie de la charge et maintient les trappes en place. La trappe *n* s'ouvre, et interdit tout envoi à son tour; tandis que la trappe *m*, en se fermant, met en mouvement une sonnette pour prévenir le chargeur de 135 mètres qu'il peut expédier ses chariots de charbon; par ce moyen, tout accident est rendu impossible, chaque chargeur étant forcé d'obéir à cette manœuvre.

Trappes de descente. Du côté de la descente il existe également une trappe à chacun des niveaux (*m'*, *n'*, *Pl. II, fig.* 1), mais elles ne sont pas reliées l'une à l'autre, celle du fond est constamment fermée pour recevoir les chariots qui ne sont pas arrêtés à l'étage supérieur. Les trappes du côté de la descente sont inclinées (d'environ 2 centimètres par mètre) pour que le chariot, en s'y déposant, se mette en mouvement et s'échappe de lui-même de l'appareil pour se rendre à une assez grande distance, d'où il est ensuite pris par les chargeurs.

Du côté montant, la trappe est inclinée en sens inverse, de manière à maintenir, au contraire, le chariot dans l'appareil.

La manœuvre des chariots pour leur réception au jour se fait d'une manière aussi simple et aussi facile : leur arrivée est d'abord signalée par un coup de sonnette que le chariot donne lui-même en atteignant les taquets du dernier étage; de cette

manière le personnel du jour est averti de l'arrivée de chaque chariot. (Voir *Pl. II*, *fig.* 1, la sonnette V, mise en mouvement par le taquet *a* relié à la sonnette par le fil de fer YZ.)

A l'orifice du puits, l'étage supérieur de l'appareil se compose d'une porte double B, B qui tourne autour d'un axe I, et peut fermer indistinctement les deux côtés, montant ou descendant; un poids E, fixé sur le même arbre I, est disposé pour que le côté montant soit le plus lourd et tende toujours à se fermer, tandis que le côté descendant reste toujours ouvert.

En arrivant au jour, le chariot montant O rencontre sur son passage dans le compartiment où il est en mouvement, à 8 mètres environ de l'orifice du puits, le levier J (ponctué sur la *fig.* 1), le soulève, et par le moyen de la tringle K, fait faire un quart de tour à la porte BB et au secteur en fonte H, calé sur le prolongement de l'arbre I, qui porte une encoche recevant le rochet R, pour maintenir la porte ouverte et donner passage au chariot. Le chariot, une fois passé, rencontre le levier *s*, dont la tringle *u*, qu'il fait mouvoir, décroche le secteur; la porte, abandonnée à elle-même et sollicitée par le poids E, s'abat pour fermer le passage au chariot qui va descendre et se reposer sur elle et sur un chemin de fer assez incliné pour lui permettre de s'échapper seul de l'appareil.

Les chariots pleins sont ensuite conduits à quelques mètres de là, pour être déversés dans les wagons du chemin de fer d'Anzin à Denain, au moyen d'un culbuteur W (*Pl. III*, *fig.* 5) (1).

(1) Ce culbuteur a été décrit par M. Combes dans son Traité d'exploitation, tome III, pages 281 et 282.

Enfin, si l'on veut mettre un chariot vide du côté de la descente, il faut d'abord fermer la porte de ce côté, au moyen du levier *l*, puis on y pousse le chariot, dont le poids suffit pour la maintenir en place, après l'abandon du levier; mais dès qu'il est enlevé, la porte s'ouvre aussitôt de son propre mouvement et livre passage au chariot qui va descendre.

Toutes ces manœuvres se font avec rapidité et régularité : elles sont commandées par l'appareil lui-même, qui supprime tout travail pénible.

Il est bien entendu que les chariots qui montent et descendent dans l'appareil sont les mêmes que ceux dans lesquels on charge le charbon aux tailles, et qu'on évite ainsi tout transbordement; si des chariots devaient être affectés spécialement à l'appareil, il vaudrait mieux les munir de taquets qui seraient alors supprimés dans la fosse. Ces taquets sont faciles à imaginer, il suffit de les indiquer, pour qu'on trouve facilement la disposition convenable.

Appareil des mines de Ronchamp.

Un appareil que nous avons construit pour les mines de Ronchamp (1), présente des modifications qui réduisent notablement les dépenses d'établissement. L'espace disponible était très-restreint, et nous sommes arrivés à installer l'appareil dans un puits de $1^m,70$ sur $1^m,76$ de section, et à élever par heure 60 chariots, ou 960 par 16 heures de travail; à 350 kil. de charge par chariot, c'est 3.360 quintaux métriques, ou environ 4.000 hec-

(1) Nous devons bientôt faire l'étude d'un appareil du même genre pour le puits de Forbach, actuellement en creusement par le procédé de M. Kind.

tolitres de houille amenés au jour de la profondeur de 260 mètres.

La modification essentielle consiste à faire en fonte, *et* à fourche, les traverses qui embrassent les *guides* : ceux-ci se trouvent, par cette disposition, réduits de moitié; de plus, un seul bois transversal suffit pour porter les deux taquets qui sont montés sur le même palier en fonte.

Afin de faire apprécier les résultats que l'on peut obtenir par ce système, nous supposons que la course de l'appareil soit réduite à 8 ou 10 mètres et que sa vitesse soit portée à 0^m,70 par seconde : dans ces deux cas on aura pour 8 mètres de course 2 chariots 1/2 élevés au jour par minute, et pour 10 mètres de course deux chariots seulement (1). Considérations générales.

D'où il résulte que pour monter ou descendre d'une hauteur de

100	mètres il faudra	—	5	minutes.
200		—	10	—
300		—	15	—
400		—	20	—
500		—	25	—
600		—	30	—

Pour monter au jour un atelier de 200 hommes occupés à la fois dans les travaux, il faudra, avec la course de 8 mètres ou de 10 mètres, en supposant que quatre hommes puissent prendre place à la fois dans un chariot, le temps indiqué dans le tableau ci-après :

(1) Il y aura 12 étages 1/2 pour 100 mètres avec la course de 8 mètres, et 10 étages pour 100 mètres avec la course de 10 mètres.

LONGUEUR DE LA COURSE de l'appareil.	Pour 100 mètres de profondeur.	Pour 200 mètres de profondeur.	Pour 300 mètres de profondeur.	Pour 400 mètres de profondeur.	Pour 500 mètres de profondeur.	Pour 600 mètres de profondeur.
Pour 8 mètres.	25'	30'	35'	40'	45'	50'
Pour 10 mètres.	30'	35'	40'	45'	50'	55'

Et autant pour descendre.

Tableau donnant la quantité de charbon extraite pendant une journée, dont la durée de travail sera de 8, de 10 ou de 12 heures.

COURSE de L'APPAREIL.	CHARBON EXTRAIT pendant 8 h. de travail.			CHARBON EXTRAIT pendant 10 h. de travail.			CHARBON EXTRAIT pendant 12 h. de travail.		
	Nombre de chariots.	Contenance 2 1/2 hect.	Contenance 5 hect.	Nombre de chariots.	Contenance 2 1/2 hect.	Contenance 5 hect.	Nombre de chariots.	Contenance 2 1/2 hect.	Contenance 5 hect.
Pour 8 mètres.	1.200	3.000	6.000	1.500	3.750	7.500	1.800	4.500	9.000
Pour 10 mètres.	960	2.400	4.800	1.200	3.000	6.000	1.440	3.600	7.200

Ces chiffres suffisent pour apprécier l'importance du système et faire sentir tout le parti qu'on peut en tirer, surtout dans les mines profondes, puisque la quantité de charbon extraite reste la même, quelle que soit la profondeur, et que, suivant qu'on augmentera la capacité des chariots et qu'on multipliera les oscillations de l'appareil, on pourra augmenter pour ainsi dire indéfiniment les produits de l'extraction.

Application des appareils du Hartz.

Indépendamment de la facilité de monter et de descendre les ouvriers par les chariots, nous avons indiqué dans l'espace compris derrière nos tirants,

fig. 3 et 4, *Pl. IV*, des marchepieds *m*, *m*, surmontés de poignées en fer *p*, *p*, de manière que sans arrêter l'extraction et pour profiter des mouvements inverses de deux tirants contigus, les ouvriers pourront monter et descendre d'une manière continue sans éprouver le temps d'arrêt qu'occasionnent les chariots, et s'en servir comme dans le Hartz.

Bien que notre appareil ne soit pas pourvu de ces marchepieds, le besoin s'en fait tellement sentir que souvent les ouvriers montent sur les traverses AA qui leur en tiennent lieu.

Pour compléter les nombreuses applications que l'on peut encore obtenir de ce système, nous citerons quelques modifications susceptibles d'être adoptées pour en étendre l'usage. Applications diverses.

L'idée première pour élever la houille par des tiges oscillantes a été d'appliquer à l'appareil tel qu'il a été construit par M. Warocqué, des plateaux ayant un mouvement de bascule, en haut et en bas de chaque course, de manière que les chariots pussent enjamber, pour ainsi dire, d'un plateau sur l'autre; mais la précision à obtenir pour que le passage des chariots sur les plateaux s'exécute toujours bien, nous parut d'une application impossible, aussi bien que la réalisation d'un moteur pour atteindre le même résultat.

Dès ce moment, nous envisageâmes l'appareil futur comme devant repousser tout mécanisme exigeant une exactitude trop rigoureuse dans son mouvement; quand au contraire, pour satisfaire aux conditions d'un pareil travail, on doit chercher le moyen de ne pas être astreint à une trop grande précision, afin de donner un excédant de course et une latitude qui procure une garantie suffisante contre toutes les chances d'accidents.

Ces conditions, nous les avons obtenues par la combinaison des taquets que nous avons décrits.

Nous avons aussi étudié une disposition qui est représentée *Pl. IV*, *fig.* 1; elle se compose de deux tirants animés de mouvements inverses, de façon que pendant que le tirant T monte et soulève la charge, le tirant T' descend et va la prendre à son tour par le second piton pour la soulever ensuite; de cette manière l'élévation des chariots est continue, mais ce moyen ne serait praticable que pour élever de faibles charges. La *fig.* 2 représente le côté descendant du même appareil. Une autre disposition, *fig.* 5 et 8, qui permettrait d'élever de plus grandes charges, se compose de quatre tirants se mouvant deux à deux et en sens inverse, de manière à procurer, comme il est dit plus haut, une ascension continue des charges, et par conséquent à doubler la quantité de chariots élevés au jour; c'est-à-dire que les charges, au lieu de reposer sur des taquets fixes dans les puits, sont immédiatement reprises par les taquets des seconds tirants et n'éprouvent aucun temps d'arrêt. Mais si nous observons que par le procédé que nous avons mis en pratique on peut arriver à une extraction pour ainsi dire illimitée, que sa disposition est plus simple en ce qu'elle supprime la moitié des tirants et qu'elle est d'un établissement plus solide et moins coûteux, on peut croire qu'elle satisfait à toutes les conditions du problème.

Enfin on peut transformer le mouvement vertical des tirants en un mouvement horizontal ou incliné. (Voir les *fig.* 9 et 10 qui représentent deux tirants horizontaux reliés à leurs extrémités par

une chaîne qui passe sur une poulie et transmet ainsi à ces deux tirants le mouvement de va-et-vient qu'ils reçoivent de l'appareil vertical dans le puits.) Ces tirants peuvent parcourir les galeries horizontales ou inclinées d'une exploitation et servir, au moyen de taquets convenablement disposés, au transport intérieur du charbon; l'inspection de la *fig.* 9 seule suffit pour donner l'explication des taquets à contre-poids qu'elle représente et leur jeu dans une galerie horizontale. Les *fig.* 6 et 11 représentent la disposition d'un tirant dans une courbe: ce tirant est composé de plusieurs tronçons, et chaque tronçon est formé de deux pièces assemblées à mi-bois, entre lesquelles se trouve une corde en fil de fer qui fait fonction de charnière; dans la courbe, ils sont également guidés par des poulies ou galets, qui sont plus rapprochés et donnent la déviation que l'on veut procurer aux tirants.

Cette disposition exige deux voies de roulage, l'une pour l'allée et l'autre pour le retour des chariots.

Nous ne doutons pas que toutes ces dispositions ne puissent être, suivant les circonstances, utilement appliquées, et nous espérons prochainement pouvoir nous occuper tout particulièrement de la dernière.

CHAPITRE II. — Du moteur.

L'application d'un moteur au travail de l'appareil que nous venons de décrire, nous a surtout préoccupé.

La condition essentielle à obtenir était de procurer à tout l'appareil un mouvement alternatif

de va-et-vient très-étendu et parfaitement déterminé, et d'en régler convenablement toutes les périodes, de manière à éteindre par degrés, à chaque changement de direction, les forces vives de tout le système et supprimer ainsi les causes de choc et de rupture.

Cette double condition ainsi que la succession des mouvements à charge et à vide pour enlever les chariots d'un étage et les déposer sur un autre, produisent des irrégularités de travail qui nous ont fait longtemps hésiter entre plusieurs systèmes de moteur, que nous croyons inutile d'indiquer ici.

Nous nous contenterons de décrire celui que nous avons adopté tel qu'il est, avec toutes ses imperfections, et nous signalerons les améliorations que l'expérience nous a suggérées, ainsi que l'application d'un moteur nouveau devant aussi remplir toutes les conditions du problème.

Description de la machine.

La machine représentée en plan (*Pl. V*) et en élévation (*Pl. VI*, *fig.* 1, et *Pl. IV*, *fig.* 12) se compose de deux cylindres horizontaux : chacun des pistons a $0^m,35$ de diamètre et $0^m,50$ de course ; ils agissent aux deux extrémités d'un arbre A sur des manivelles MM calées à 90° l'une par rapport à l'autre, et lui donnent un mouvement de rotation : cet arbre le transmet par des engrenages dont le rapport est de 5 à 1, à l'arbre B qui porte les deux plateaux polygonaux C, D, dont nous avons parlé, sur lesquels s'enroulent les deux chaînes de Vaucanson qui supportent l'appareil.

Les plateaux sont décagones et ont entre eux la

distance de $1^m,23$, ils ont un diamètre qui donne $1^m,34$ d'écartement aux axes des chaînes, et par suite aux tirants qui y sont suspendus (ces dimensions sont du reste évidemment déterminées par celles des chariots que l'on veut élever).

Chaque côté du décagone exige des maillons de $0^m,428$ de longueur, de sorte que pour un tour de l'arbre B, le développement des dix côtés des plateaux et des dix maillons est de $4^m,28$ de longueur de chaîne. Il faut alors trois tours six dixièmes, ou trente-six maillons, pour fournir la course de l'appareil qui est de $0^m,428 \times 36 = 15^m,408$.

Les étages des taquets dans le puits ne sont espacés que de $14^m,124$, tant sur les bois de refend fixés dans le puits que sur les traverses mobiles avec les tirants, c'est-à-dire moins longs de trois longueurs de maillon que la course de l'appareil; de manière que dans leurs mouvements oscillatoires les étages mobiles dépassent de $0^m,642$ en haut et de $0^m,642$ en bas les étages fixes, afin que les taquets aient une garantie suffisante pour s'échapper des chariots.

Il en résulte que la course des chariots n'est que de $14^m,124$ pour $15^m,408$ de course de l'appareil.

Supposons maintenant la machine en marche, il faudra cinq tours de manivelle ou de l'arbre A pour faire faire un tour à l'arbre B qui porte les plateaux, et par conséquent $5 \times 3^t,6 = 18$ tours de manivelle ou trente-six coups de piston pour le développement des trente-six maillons formant la course de l'appareil; si, à ce moment, on renverse la vapeur par un déplacement du tiroir pour que l'introduction ait lieu dans le sens opposé

à la marche du piston, la machine prend alors un mouvement inverse, et par suite le communique à tout l'appareil.

C'est ce qui a lieu par une disposition que nous allons décrire et qui s'opère par la machine elle-même, dans les deux sens de son mouvement, et après le développement exact des trente-six maillons de la course.

Description du renversement de vapeur.

La distribution de vapeur se fait dans les cylindres par deux excentriques XX (*Pl. V* et *Pl. VI*, *fig.* 1) calés sur l'arbre A dans le même sens que les manivelles; la barre de chacun de ces excentriques porte à son extrémité deux galets Z qui glissent dans deux rainures ménagées dans les deux plateaux B, et formant une coulisse rectiligne (*Pl. V*, *VI* et *Pl. IV*, *fig.* 12).

Ces deux disques, calés sur l'arbre E, peuvent tourner avec lui de manière à faire prendre à la coulisse toutes les positions comprises entre o et 45°.

Le mouvement de rotation de l'arbre A communique aux tiges d'excentriques AZ, un mouvement qui fait parcourir aux galets Z, Z, la rainure ménagée dans les plateaux B, et le point d'attache F de la tringle FH décrit une courbe elliptique qui donne au levier HI le mouvement de distribution de vapeur au tiroir J; et selon que la rainure est inclinée de gauche à droite ou de droite à gauche, la distribution se fait en avant ou en arrière du piston, ainsi que l'indiquent les positions des tiroirs J et J', et la machine change de marche; quand la rainure est verticale, le point d'attache F parcourt une ellipse plus allongée dont le petit axe représente la course du tiroir, mais dans ce cas la distri-

bution de vapeur est nulle, attendu que le chemin parcouru par le tiroir est égal à son recouvrement, de sorte qu'en inclinant de plus en plus la rainure jusqu'à 22° 1/2, soit à droite, soit à gauche, on atteint la limite de la course du tiroir, et l'ouverture de vapeur augmentant graduellement avec l'inclinaison de la rainure, la machine prend son maximum de vitesse.

Le tiroir porte un recouvrement de $0^{m},10$ qui permet d'obtenir une détente de 1/5. C'est dans ces conditions qu'est fixée l'inclinaison de la rainure.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur la *Pl. VI*, *fig.* 1, pour voir la liaison qui existe entre cette transmission de mouvement des excentriques au tiroir distributeur et le règlement de la machine. Cette figure représente les deux sens de marche pour un même cylindre.

Pour que le renversement de la vapeur, c'est-à-dire le mouvement de rotation de la rainure, se fasse par la machine elle-même, une petite chaîne de Vaucanson qui passe sur deux roues dentées *oo'* reçoit son mouvement de l'arbre des plateaux polygonaux et forme une chaîne sans fin qui porte deux appendices ou renflements R, R' espacés entre eux d'une quantité déterminée de manière à venir rencontrer les joues d'un secteur STU fixé sur l'arbre T et lui faire faire 1/4 de tour. Le levier TL, calé sur le même arbre, prend dans le même mouvement la position TL', et au moyen de la tringle LG qui vient en L'G', le levier GE change la position de la rainure et le renversement de la vapeur se fait. Le rapport de cette petite chaîne de Vaucanson est de 3 à 1 avec la chaîne de l'appareil, c'est-à-dire que pendant le mouvement d'un maillon de la grosse chaîne, la

petite en a développé trois des siens, de manière que pour trente-six gros maillons il y en a cent huit petits entre les deux renflements R, R′; à chacun de ces intervalles s'opère le renversement de vapeur et le secteur STU fait 1/4 de tour dans un sens, puis dans le renversement suivant le secteur est ramené à sa première position et ainsi de suite à chaque trente-six coups de manivelle; suivant que les appendices R et R′ seront plus ou moins éloignés, le renversement de vapeur se fera plus tôt ou plus tard, et la course de l'appareil pourra être ainsi plus ou moins allongée.

La faible course de $0^m,50$ que nous avons donnée au piston provient de la crainte que nous avons eue que le mouvement de rotation imprimé par une machine sans volant à un appareil lourd, ayant une inertie considérable à vaincre, se fît irrégulièrement et par secousses, tandis qu'en imprimant cinq tours de manivelle pour en communiquer un à l'arbre de l'appareil on devait nécessairement atténuer cet inconvénient; c'est ce qui a lieu en effet, car la marche est parfaitement régulière.

La marche du moteur étant bien déterminée, il s'agit d'en suivre tous les mouvements, afin de se rendre compte des conditions du travail qu'il a à exécuter.

Les raisons qui nous ont déterminé dans le choix de notre moteur peuvent déjà s'apprécier; en effet, pendant que les tirants T, T montent la charge de charbon (voir *Pl. II*), les tirants T′, T′ descendent les chariots vides; à la fin de la course, il se fait un renversement de vapeur qui change la marche de la machine, et les tirants T, T descendent à vide, tandis que ceux T′, T′ montent

aussi à vide, temps pendant lequel les charges reposent sur les taquets fixes.

Il résulte donc de ces successions de mouvements à charge et à vide, des intermittences qui font varier à chaque instant le travail de la machine.

Il faut faire observer en outre que, dans la transmission d'un mouvement alternatif instantané à un appareil dont le poids est d'environ 25.000 kilogrammes se mouvant avec une vitesse moyenne de $0^m,56$ par seconde et qui, au milieu de sa course, atteint jusqu'à $0^m,70$, il y a des forces vives développées qui, dans les changements de direction, causeraient nécessairement des chocs considérables, si nous n'en avions atténué les effets par la disposition particulière de notre moteur.

En effet, il était important de soustraire la machine aux chocs qu'elle eût éprouvés, si, dans la les changements de marche de l'appareil, elle eût été invariablement liée au mouvement de celui-ci ; c'est ce que nous avons évité par notre renversement de vapeur qui s'opère lentement, et dont l'effet immédiat est de couper l'arrivée de la vapeur et de laisser le piston obéir à l'inertie des pièces de l'appareil, jusqu'à ce que ce mouvement soit détruit.

La vapeur arrivant ensuite sur la face opposée du piston finit par vaincre l'inertie et donner le mouvement en sens inverse; mais pour arriver à ce résultat, il fallait supprimer tout volant dont l'effet régulateur est contraire au but que nous avons voulu obtenir, de rendre la vitesse variable dans certains points de la course en haut et en bas, afin de soulever et de déposer les charges doucement et sans chocs, pour prendre ensuite une vitesse accélérée au milieu de la course.

Toutes ces conditions que nous avons jugées nécessaires à l'accomplissement d'un travail aussi variable que celui qui nous occupe, ont été obtenues au moyen de deux cataractes mues par la machine elle-même.

Description des cataractes.

Nous avons dit plus haut qu'en inclinant plus ou moins les coulisses ménagées dans les disques B et C qui dirigent les tiges d'excentrique et communiquent le mouvement aux tiroirs de distribution, on arrivait à modifier l'introduction de la vapeur, de façon à pouvoir régler à volonté la vitesse de la machine. Ce résultat est atteint par les dispositions qui suivent (1):

L'arbre T sur lequel est fixé le secteur STU qui reçoit le mouvement de la petite chaîne à la Vaucanson porte, outre le secteur STU et le levier TL (qui transmet à la tringle LG et au bras GE le mouvement de renversement de la coulisse), un autre levier VW muni de deux boulets V, W, lesquels, en s'appuyant sur les tampons mobiles en bois qui surmontent les cataractes et dont ils suivent le mouvement, donnent graduellement à la coulisse l'inclinaison nécessaire. Ce dernier levier est terminé par des poignées ou manettes qui servent à gouverner la machine. Cela posé, nous allons voir comment agissent les cataractes.

Chacune d'elles se compose d'un corps de pompe avec piston plein renfermé dans une caisse

(1) Les cataractes ont été supprimées comme compliquant sans nécessité le mécanisme. C'est, du reste, M. Méhu lui-même qui a indiqué et réalisé cette suppression. (*Voir plus bas, page 37.*) C.

en fonte N remplie d'eau; le fond de la caisse est traversé par deux tiges en fer *i i* qui jouent dans des boîtes à *étoupes* (pour éviter les fuites d'eau) et servent à communiquer le mouvement aux pistons *plongeurs* K et K' des cataractes (*Pl. VII, fig. 1 et 2*). Pendant le mouvement ascendant du piston, l'eau contenue dans la caisse est aspirée par la soupape *x* (*fig.* 2) et remplit le vide qui tend à se produire dans le corps de pompe; dès que le piston a cessé d'être soulevé et qu'il tend à descendre par son propre poids, la soupape *x* se ferme, et l'eau ne trouvant pas d'autre issue que l'ouverture conique Z en partie obstruée par un robinet, s'écoule lentement et donne au piston plongeur un mouvement descendant, plus ou moins rapide, au gré du mécanicien, attendu que la vis S est à sa disposition, et qu'il peut, en la tournant, soulever plus ou moins le tampon, et accélérer ou diminuer la sortie de l'eau; on obtient ainsi, par ce mouvement, le moyen de régler l'amplitude de la course des boulets, et de faire varier la distribution de vapeur, de façon à ralentir ou à augmenter, par intervalles, la vitesse de l'appareil.

En effet, si on suppose le moment où l'appareil est sur le point de terminer une oscillation et de commencer celle qui doit soulever les charges, le plongeur K de la cataracte Y vient de fonctionner, et la machine ralentit pour enlever doucement les chariots vides; le renversement de la vapeur a lieu, et une oscillation nouvelle va commencer, les chariots vides vont descendre pendant que les chariots pleins vont monter. La *fig.* 1, *Pl. VI*, représente la disposition des cataractes dans cette position de l'appareil, et au moment où le renflement R' de la chaîne de renversement

de vapeur va agir sur le secteur pour changer le sens du mouvement de la machine, en même temps le patin P (*fig.* 1) soulève le levier L qui agit par la tringle *l* pour faire monter le poids π. Aussitôt que le patin P quitte le levier, le boulet π retombe de tout son poids (*fig.* 2) sur un mentonnet α qui soulève, au moyen d'un levier *q*, la tige *i* qui supporte la cataracte. En ce moment le renversement de la vapeur s'opère, et le boulet V' est reçu sur le tampon ponctué de la cataracte K' dans sa position la plus élevée, position à laquelle correspond une très-faible inclinaison de la coulisse de distribution. Il y a dès lors étranglement dans l'arrivée de la vapeur, ralentissement de la machine et enlèvement des chariots pleins par l'appareil ; mais l'eau s'écoule de la cataracte, et bientôt la machine acquiert son maximum de vitesse, jusqu'à ce que, arrivée à l'extrémité de sa course, la même cataracte fonctionne par une autre disposition, et procure un ralentissement pour déposer les chariots vides sur les taquets fixes. Puis, au moment du changement de marche de l'appareil, la cataracte K est aussi soulevée pour déposer les chariots pleins sur leurs taquets fixes, et ainsi de suite, pour les quatre positions des chariots, chaque fois qu'ils passent du mouvement au repos et du repos au mouvement.

Nous croyons avoir défini d'une manière assez exacte le travail que la machine a à remplir, ainsi que les moyens que nous avons mis en œuvre pour satisfaire à toutes les conditions de ce travail. Il ne reste plus, pour compléter le moteur, qu'à décrire le contre-poids qui doit équilibrer les deux chaînes de Vaucanson supportant l'appareil. Ces chaînes, en se développant d'un côté et de l'autre

des plateaux polygonaux, occasionnent un déplacement de poids auquel il convient de faire équilibrer, afin de ne pas absorber en pure perte une partie de la force de la machine.

Les chaînes se composent de maillons assemblés alternativement par deux et par trois (*Pl. II*, *fig.* 2). Poids de la chaîne à la Vaucanson.

Chaque longueur de deux maillons avec son boulon pèse.	53k,990
Les trois maillons et leur boulon pèsent	55k,499
En tout.	109k,489

Ce poids donne la moyenne de deux longueurs de maillons, et comme un maillon se déroule sur chaque chaîne pour 1/10 de tour des plateaux, il en résulte que les trente-six longueurs nécessaires pour fournir la course de l'appareil correspondante à trois tours 6/10 pèsent 109k,489×36= 3.491k,64, poids qui en se déplaçant fait varier le travail du moteur en plus et en moins de chaque côté des tirants de l'appareil.

Nous avons supposé, pour maintenir l'appareil en équilibre, un poids fixe de 2.000 kilogrammes agissant à l'extrémité de rayons variables calculés pour chaque position, ou par l'intermédiaire d'un plan incliné avec courbes également calculées. Mais la disposition des lieux ne s'étant pas prêtée à l'établissement de ce dernier système, nous avons adopté le premier qui remplit également le but.

Les conditions d'équilibre des diverses parties de l'appareil varient à chaque développement des maillons des chaînes. Quand chacun des tirants est à l'une des extrémités de sa course, il y a d'un

côté des poulies un excédant de trente-six maillons sur chaque chaîne qui opposent une résistance de 3.941^k,64, et cette résistance, qui diminue à mesure que le mouvement s'effectue, est toujours égale à la différence entre le poids des maillons situés d'un côté des poulies et celui des maillons qui pendent de l'autre côté. Au moment où les deux chaînes sont également développées dans les deux compartiments du puits, leurs deux parties se font équilibre; après cette position le mouvement continuant, le poids des chaînes devient supérieur du côté opposé à celui que nous avons d'abord considéré et s'ajoute à la force motrice. Il est donc nécessaire que, pendant la première partie du mouvement ascendant de l'une quelconque des tiges, le contre-poids agisse avec le moteur, et qu'il lui soit opposé pendant la seconde moitié. On voit d'ailleurs que dans chacune des trente-six positions des maillons, leur poids excédant multiplié par son bras de levier c'est-à-dire par le rayon des poulies, doit être égal au produit du contre-poids par le rayon à l'extrémité duquel il agit. Cette condition fournit le moyen de tracer la courbe sur laquelle doit s'enrouler la chaîne supportant le contre-poids, et en considérant chacune des trente-six positions des maillons, on aura autant d'équations, desquelles on déduira autant de rayons correspondants de cette courbe. Elle sera formée de deux parties parfaitement symétriques. En outre, comme la course de l'appareil correspond à 3,6 révolutions de l'arbre des poulies polygonales avec lequel est solidaire celui du contre-poids, chaque portion de courbe doit embrasser un arc de 1,80 révolution, ce qui exige que cette courbe soit à double cour-

bure et composée de spires formant une sorte d'hélice autour de l'axe de rotation.

La *fig.* 1, *Pl. VII*, donne le tracé de la double courbe projetée sur un plan perpendiculaire à l'axe de rotation. *a* est le point d'attache du contrepoids et correspond au bras de levier nul.

La *fig.* 2 représente la courbe projetée sur un plan parallèle à son axe.

Comme la charge de l'appareil peut donner lieu à des irrégularités de travail de la machine, nous avons dressé un tableau qui représente ce travail pour les diverses positions des maillons, et nous avons, d'après les indications de ce tableau, modifié les deux rayons extrêmes de la courbe en diminuant leur longueur (1).

Pendant que l'ascension se fait dans un compartiment, la descente a lieu dans l'autre, et les deux parties de l'appareil (abstraction faite des chariots) se feraient équilibre dans toutes les positions, si les tirants, du côté où se fait la descente, ne portaient un système de leviers à contre-poids répété à chaque étage, et qui présentent un excédant de poids de 460 kilogrammes.

Pendant la course des deux premiers maillons le poids du charbon élevé est nul. Pendant cet

(1) Nous ne reproduisons pas ce tableau, qui est fort étendu. Ces résultats numériques seraient sans utilité et sans intérêt, parce qu'ils s'appliquent à des données purement locales et essentiellement variables. — M. Méhu a pris pour base de ses calculs les chiffres suivants :

Nombre des chariots à la remonte comme à la descente.		10
Poids d'un chariot vide.		95 kil.
Chargement du chariot.	2 hect. 42 lit.	235 kil. de charb.

C.

instant les poids soulevés ont été représentés par les nombres 2.422^{k} et 2.203^{k}, lesquels ont été équilibrés par l'action du contre-poids modifié, ainsi que nous l'avons dit plus haut.

Le contre-poids est formé par une caisse en tôle *c* (*Pl. II, fig.* 2 et *Pl. VII, fig.* 3, 4, 5), contenant des lingots de fonte d'un poids total de 2.000 kil. Cette caisse est suspendue au moyen d'une chaîne torse de longueur convenable à l'anneau *a* qui correspond au bras de levier nul, celui qui correspond au moment où les deux parties de la chaîne également développées de chaque côté de la poulie se font équilibre. A partir de cette position, si l'arbre tourne dans un sens quelconque, la chaîne torse s'enroule sur l'une des spirales, et le poids monte et descend deux fois pendant une oscillation complète de l'appareil.

Son mouvement a lieu dans une fosse rectangulaire *f* (*Pl. II, fig.* 2 et *Pl. VII, fig.* 7), dont le grand axe horizontal est oblique par rapport à l'arbre de rotation des spirales. Pour empêcher les oscillations que ne manquerait pas de lui imprimer le double déplacement de la chaîne d'attache qui se fait parallèlement à l'arbre, et dans un sens perpendiculaire, la caisse est guidée dans son mouvement. A cet effet elle a été munie de deux roues à larges rebords *r*, *r* qui sont maintenues entre quatre rails parallèles deux à deux et distants entre eux d'une quantité égale au diamètre des jantes. La forme qu'affectent ces rails placés sur les faces verticales des longs côtés de la fosse est déterminée comme il suit.

Considérant comme plane la spirale d'enroulement, et traçant dans leurs positions respectives les dix-huit rayons qui ont servi à la construire,

on amène dans une situation horizontale le dernier rayon n.° 18, *Pl. VII*, *fig.* 1, et de son extrémité on abaisse une verticale d'une longueur arbitraire. On fait arriver ensuite successivement tous les rayons sur la même ligne horizontale, et de l'extrémité de chacun d'eux on abaisse une verticale sur laquelle on mesure, à partir de la naissance, la distance arbitraire primitivement adoptée, augmentée d'une longueur égale à l'arc de la courbe compris entre le premier rayon et celui que l'on considère. Le lieu de tous les points situés aux extrémités des verticales représente la courbe sur laquelle sont maintenues les roues du chariot sollicité par la chaîne d'attache dans son mouvement autour de la spirale.

Il n'a pas été tenu compte du déplacement très-restreint de la chaîne dans le sens de l'arbre, on en a simplement atténué les effets, en plaçant l'axe du puits dans une position oblique sur l'arbre des spirales. Quatre rails sont ainsi symétriquement disposés de chaque côté de l'arbre.

Nous terminerons ce qui se rapporte au contrepoids en faisant connaître qu'au moyen de la légère modification faite aux spirales vers leurs extrémités, nous sommes parvenus à diminuer son action, au commencement de chaque oscillation, de manière à obtenir une mise en activité très-lente de la machine, qui a dispensé de faire fonctionner les cataractes dont le jeu entraînait une perte de temps assez notable.

L'usage des chaînes de Vaucanson n'a pas reçu l'approbation générale des hommes spéciaux; cependant elles fonctionnent bien, et présentent surtout une solidité remarquable. L'emploi de crémaillères éviterait, j'en conviens, cet attirail

de contre-poids, etc., mais elles n'offriraient certainement pas la même sécurité.

Quoi qu'il en soit, nous avons étudié plusieurs moteurs qui présentent, à plusieurs égards, de l'intérêt; mais les différents constructeurs qui ont étudié l'appareils de Ronchamp ont préféré celui que nous venons de décrire. Néanmoins nous croyons utile de faire connaître un moteur à balancier hydraulique susceptible d'atteindre une assez longue course, et que nous pensons être d'un bon usage pour notre appareil.

Nouveau moteur à balancier hydraulique.

Le but essentiel à atteindre, dans l'application d'un moteur pour notre appareil, est une grande course; le moteur à colonne d'eau que nous allons décrire, et qui est représenté *Pl. VIII*, atteint convenablement ce but. Il se compose de deux pompes foulantes de gros diamètre, qui envoient l'eau dans deux colonnes verticales garnies de pistons pleins, placées au-dessus du puits, mais n'ayant qu'un diamètre moitié de celui des plongeurs, de façon que la course des pistons des colonnes élévatoires est quadruple de celle des plongeurs foulants.

Cela posé, voici le jeu de la machine : deux cylindres horizontaux AA (*fig.* 1) donnent le mouvement à un arbre B; cet arbre le transmet, au moyen des engrenages I, J, à l'arbre C, qui porte un pignon D, dont les dents engrènent aux deux crémaillères EF (*fig.* 1 et 3). Ces crémaillères font partie des plongeurs MN, qui ont des mouvements inverses, c'est-à-dire que l'un monte pendant que l'autre descend. La course est de 2 mètres à chaque plongeur, ce qui donne par conséquent 8 mètres aux pistons des colonnes qui portent l'appareil. A la fin de cette course un ren-

versement de vapeur opère le mouvement inverse du moteur, et procure par conséquent le mouvement de va-et-vient aux pistons MN, tel qu'il existe dans notre première machine. Nous tenons essentiellement à cette disposition dont nous avons fait connaître les avantages dans notre premier moteur : autrement il serait infiniment plus simple de disposer aux deux extrémités de l'arbre C deux manivelles calées en sens inverse, qui, à chaque tour, feraient faire une oscillation complète aux plongeurs MN. Mais, encore une fois, cette disposition relie invariablement le moteur au travail de l'appareil qui accumule des forces vives considérables qui se trouveraient constamment en opposition avec le mouvement de la machine, et occasionneraient des chocs très-nuisibles dans tout le système.

Bref, telle est en principe la disposition que nous croyons devoir indiquer, sauf à la modifier suivant les cas. Les pistons pleins MN ont une vitesse maximum de $0^m 20$ par seconde, et donnent $0^m,80$ aux colonnes montantes HH. De plus, toutes les parties de la machine et de l'appareil qui y est suspendu se font parfaitement équilibre. Une poulie O, calée sur l'arbre C, porte une chaîne et au bout un contre-poids P, qui s'enroule et se déroule pour faire équilibrer au poids du charbon qui monte dans l'appareil, de manière à descendre lorsque le poids du charbon monte, et à monter lorsque les chariots de charbon sont déposés sur les taquets fixes, pour arriver ainsi à équilibrer une partie du charbon et à donner de la charge du côté marchant à vide. Ce poids pourra se mouvoir verticalement, mais mieux sur un plan incliné dont les courbes seront calculées de manière à équilibrer

toutes les positions de la charge de l'appareil.

Si l'on examine la disposition des pistons des colonnes H H, auxquels l'appareil est suspendu, on voit qu'ils se meuvent dans des boîtes à étoupes et que leur intérieur est creux. Leur partie supérieure est en forme de T, pour y fixer des tirants T T et T′T′, qui descendent dans le puits. L'espace compris entre les pistons M N et ceux H H, est rempli d'eau, de manière que le mouvement communiqué par la machine aux pistons M N se transmet immédiatement à ceux H H et à l'appareil.

Il est essentiel de ne pas employer des pistons dans des cylindres alèses qui nécessiteraient des réparations difficiles. De plus, le plongeur creux qui est représenté *fig.* 4 renferme de l'air qui se comprime ou se dilate en soulevant et en déposant les charges, forme ressort, et empêche les chocs.

C'est aussi dans le même but que nous avons adopté deux cylindres pour supprimer le volant et admettre le renversement de vapeur qui a été exécuté dans la première machine. Mais, au lieu de crémaillères, si on suppose deux manivelles placées aux extrémités de l'arbre D, qui donneraient le mouvement à deux bielles et aux plongeurs M N, le mouvement de la machine serait continu, et chaque tour de l'arbre D donnerait le mouvement de va-et-vient à chaque pompe M N. Dans ce cas, une machine ordinaire avec volant pourrait être employée; mais, encore une fois, nous craignons les chocs, et puis la course de l'appareil serait moins sûre à cause du matelas d'air cité plus haut, attendu que, par la charge plus ou moins grande, la compression du volume

d'air diminuerait la course de l'appareil ; tandis que par le renversement de vapeur qui s'exécuterait par l'appareil lui-même dès qu'il aurait atteint sa course, la machine ferait parcourir aux plongeurs *M* et N un peu plus de chaîne pour atteindre *ce but*. C'est donc un peu plus d'espace à conserver dans le jeu des pistons. De plus, un indicateur serait nécessaire pour faire connaître le niveau de l'eau dans les plongeurs, et indiquer le moment où il faut en introduire, soit à la main, soit par un mécanisme spécial, afin de conserver toujours la course régulière.

Nous pensons que toutes les conditions d'une bonne marche seraient parfaitement remplies par ce moteur; nous l'indiquons entre plusieurs autres, car on pourrait également arriver au même résultat par un système atmosphérique.

NOTE

Sur l'application aux plans inclinés de la machine d'extraction de M. Méhu;

Par M. SCHUTZ, directeur des houillères de Ronchamp.

M. Méhu, directeur des ateliers de la compagnie des mines d'Anzin, a inventé une machine destinée à remplacer les câbles servant à l'extraction dans les puits verticaux et à procurer une puissance d'extraction pour ainsi dire illimitée (1).

Ce système sera prochainement établi aux mines de Ronchamp (Haute-Saône); il servira à la descente et à la remonte des ouvriers, ainsi qu'à l'extraction de la houille.

Les mines de Ronchamp se trouvent dans une position exceptionnelle. Le gîte houiller est à une grande profondeur; il est renfermé entre les deux branches d'un vaste dérangement qui impose l'obligation de le suivre dans son inclinaison, et ne permet pas le développement des travaux suivant la direction des couches.

Cette disposition du gîte houiller rend nécessaire une double extraction, d'abord par un plan incliné qui parviendra à la longueur de 700 mètres, et ensuite par un puits vertical de 259 mètres de

(1) *Voir* l'article précédent.

profondeur. Le plan incliné suivant la couche de houille part du fond du puits et s'enfonce suivant l'inclinaison. Il doit alimenter l'extraction qui se fait par le puits vertical, de sorte qu'en établissant sur celui-ci un moyen puissant d'extraction, on doit en établir un sur le plan incliné qui soit en rapport avec le premier qu'il doit alimenter. Tels sont les motifs qui nous ont obligé d'étudier le moyen de transformer le système à taquets de M. Méhu, pour l'appliquer à l'extraction sur des plans inclinés.

Ce problème a été heureusement résolu, et c'est ce nouvel appareil que nous allons décrire et dont nous joignons le dessin à cette note (1).

Description de l'appareil.

L'appareil consiste en deux tirants parallèles T, T' (*Pl. IX*, *fig.* 1 et suiv.), établis dans toute la longueur du plan incliné, et adaptés à leur extrémité supérieure, à un moteur pouvant leur imprimer un mouvement alternatif de va-et-vient (*fig.* 1 et 3). Ces deux tirants sont pourvus d'essieux coudés, espacés entre eux de 5 à 6 mètres, portant de petites roues en fonte. Ces roues à gorges sont posées sur des rails en fer qui règnent sur toute la longueur de la galerie inclinée, et supportés par des supports en fonte recourbés, que l'on fixe à des traverses placées au toit de la galerie (*fig.* 7).

C'est sur cette espèce de chemin de fer suspendu que les deux tirants peuvent opérer avec précision leur mouvement alternatif.

L'un de ces tirants T sert à la remonte des wa-

---

(1) Nous nous conformons au légitime désir de l'auteur, en faisant connaître qu'il a pris un brevet pour les modifications introduites dans l'appareil de M. Méhu. C.

gons chargés de houille, et l'autre T' sert à la descente des wagons vides AC (*fig.* 3).

La *fig.* 7 représente la section transversale de la galerie ou plan incliné.

r, *r*, *r*, *r*, rails en fer, servant de guides et de supports aux tirants T, T'.

r', *r'*, *r'*, *r'*, rails en fer, fixés sur le sol pour la remonte et la descente des wagons.

Cet appareil se compose de taquets fixés sur le sol et de taquets fixés au tirant. Appareil de la remonte. *Fig.* 2.

Les premiers sont posés sur un axe qui leur permet de tourner librement; ils sont maintenus dans une position rectangulaire avec le plan incliné, par le moyen d'un contre-poids placé au-dessous de l'axe. Ces taquets s'abaissent lorsqu'un wagon monte, et dès qu'il est passé, ils reprennent leur position rectangulaire pour recevoir le wagon au moment où le tirant descend. Un arrêt placé du côté de la descente les empêche de tourner de ce côté et les force à retenir le wagon à l'étage où le tirant l'a poussé dans l'oscillation précédente.

Le plan incliné est divisé en autant d'étages qu'il y a de galeries G, G, etc., par lesquelles les wagons chargés de houille sont amenés au plan incliné et introduits à toutes les hauteurs ou à tous les étages sur la voie montante. A chaque étage se trouve un taquet placé au milieu de la voie de fer.

Dans notre appareil, les étages seront espacés de 14 mètres, distance qui règne entre les galeries établies de chaque côté du plan incliné. La course des tirants sera, dès lors, de 16 mètres, c'est-à-dire 1 mètre au-dessus d'un étage

et 1 mètre au-dessous, afin que les taquets de la montée et ceux de la descente puissent s'échapper en décrivant un arc de cercle d'un rayon égal à leur longueur.

Au-dessus de chaque taquet fixé au sol de la galerie, se trouve un taquet fixé à la tige ou tirant; il tourne aussi sur un axe, et est pourvu d'un arrêt du côté de l'inclinaison. Ce taquet saisit le wagon chargé et le pousse sur la voie montante jusqu'à ce qu'il rencontre le taquet fixé au sol, qui l'arrête à la hauteur où le tirant l'a élevé dans une oscillation précédente. Les taquets fixés au tirant ont aussi des contre-poids, pour amortir leur chute ainsi que leur frottement à la partie supérieure des wagons.

Appareil de la descente (*fig.* 1, 4, 5 et 6).

Cet appareil est un peu plus compliqué que celui de la remonte, quoique simple aussi; il doit saisir les wagons arrêtés contre les taquets fixés au sol de la galerie, les pousser à la distance d'un mètre en amont, et aussitôt le taquet fixé au sol tombe, pour laisser descendre d'un étage le wagon retenu par le taquet fixé au tirant. Arrivé à quelque distance du taquet fixé au sol de l'étage inférieur, ce wagon heurte le levier articulé *d'* (*fig.* 1, 4 et 5), et le taquet τ se lève pour recevoir le wagon descendant qui doit attendre dans cette position qu'une nouvelle oscillation le fasse descendre encore d'un étage.

Les fonctions des taquets fixés au tirant sont aussi simples que celles des taquets fixés sur le sol.

La position normale des premiers est celle qui est indiquée en *a* (*fig.* 4); ils doivent être relevés parallèlement au tirant : lorsque celui-ci monte et que le taquet, dans cette position, approche du

wagon qui doit descendre, le levier articulé *d* (*fig.* 4) heurte la touche C, et le taquet s'abaisse à l'instant pour saisir le wagon qu'il fait remonter d'un mètre, extrémité de la course ascendante du tirant, et le taquet fixé au sol s'abat immédiatement (*fig.* 6) et laisse descendre le wagon dans le mouvement descendant du tirant.

Comme les taquets fixés au tirant doivent monter à 1 mètre plus haut que chaque étage et descendre à 1 mètre plus bas, afin d'avoir une garantie pour l'échappement des taquets, les leviers articulés *d* heurteraient les touches *c* en descendant, et il en résulterait une perturbation dans le jeu de l'appareil à tous les étages, car les taquets qui font descendre le wagon sur la voie de fer inclinée ne pourraient lâcher ces wagons, qui, dans ce cas, remonteraient d'un étage. Pour éviter cet inconvénient, les touches *c* et les leviers articulés *d* sont placés d'un côté du tirant à l'un des étages, et de l'autre côté pour l'étage suivant, et ainsi de suite pour tous les étages.

Dès que le tirant, dans son mouvement descendant, a déposé les wagons contre les taquets fixés au sol, le taquet fixé au tirant se relève dans la position indiquée *a* (*fig.* 4), par l'effet du contre-poids *b*.

La *fig.* 1 représente la galerie inclinée avec les galeries qui la croisent rectangulairement suivant la direction de la couche, et qui conduisent aux tailles ou chantiers d'abattage de la houille; elle représente également l'élévation de la machine à vapeur qui transmet le mouvement aux tirants.

Pour un plan moins incliné et sur lequel on pourrait craindre que les tirants ne descendissent pas par leur propre poids, on pourrait placer à

la partie inférieure une poulie sur laquelle passerait une chaîne fixée aux deux tirants.

Aux mines de Ronchamp, la vitesse des tirants est d'un mètre par seconde. Il y aura quarante étages de taquets, et par conséquent quarante galeries conduisant aux tailles d'un côté du plan incliné et quarante de l'autre côté.

Ainsi, lorsque l'appareil sera garni de wagons, il fournira à l'entrée du plan incliné un wagon en 38 secondes, en comprenant dans ce temps les changements de marche du moteur, et à la condition d'introduire un wagon à chaque oscillation. On voit par ce simple exposé quelle puissance d'extraction cet appareil possède, et combien il rend le travail facile en permettant d'introduire les wagons chargés de houille, et de recevoir les wagons vides à toutes les hauteurs ou à tous les étages.

L'entretien de cet appareil doit être nul pendant les premières années, et dans la suite il ne peut exiger que quelques réparations partielles peu importantes et qui ne peuvent être comparées à la dépense des câbles employés dans la méthode ordinaire. On peut prévenir la rupture des tirants en les soutenant à différentes hauteurs, au moyen d'une poulie sur laquelle passerait une chaîne, ce qui ne gênerait nullement le mouvement oscillatoire.

Du moteur.

Le moteur est une machine à vapeur à deux cylindres horizontaux transmettant le mouvement de rotation à un arbre portant un pignon qui fait mouvoir l'arbre incliné portant la poulie sur laquelle passe la chaîne à la Vaucanson, qui réunit les deux tirants. La machine fait ainsi monter l'un

de ceux-ci de 16 mètres, pendant que l'autre descend de la même hauteur; après quoi l'admission de vapeur est renversée, et la machine tourne en sens contraire par un mécanisme particulier, qui *ne lui* permet jamais de dépasser la course *qu'elle* doit imprimer aux tirants. Un régulateur très-sensible règle l'admission de vapeur et la vitesse du moteur.

D'après ce système, l'appareil aura d'un côté toute la charge de houille à élever. Cette condition défavorable pourra être atténuée par un contre-poids. Mais dans la mine de Ronchamp cet inconvénient disparaîtra lorsque le nouveau puits actuellement commencé sera parvenu à la couche de houille, et qu'il sera mis en communication avec l'extrémité inférieure du plan incliné. Alors l'extraction sera partagée par l'appareil incliné entre les deux puits verticaux, en sorte qu'il descendra la moitié des wagons chargés de houille au puits inférieur, pendant qu'il en montera un pareil nombre au puits supérieur.

De cette manière, ces deux poids se feront en quelque sorte équilibre, et le moteur aura alors, des deux côtés, des charges sensiblement égales.

L'espace compris entre ces deux puits renfermera le champ d'exploitation qui sera divisé en six grands compartiments séparés par des massifs de houille; chaque compartiment aura sa prise d'air frais dans la galerie inclinée, et conduira l'air vicié dans une galerie mise en communication avec des aspirateurs placés sur les puits situés en amont, tandis que l'air frais entrera par le puits inférieur.

Des portes convenablement placées dirigeront

la ventilation, et des portes de sauvetage seront disposées à l'avance pour le cas où une explosion de grisou aurait lieu dans l'un des compartiments.

RAPPORT

sur l'explosion d'une chaudière à vapeur dans une fabrique de sucre à Bruille-lez-Saint-Amand (arrondissement de Valenciennes);

Par M. COMTE, ingénieur des mines.

Le vendredi, 29 novembre 1850, un générateur de vapeur a fait explosion dans la fabrique de sucre des sieurs Lemer, Dupriez et Cie, située dans la commune de Bruille-lez-Saint-Amand, arrondissement de Valenciennes.

Nous avons été informé de cet accident par le journal *l'Impartial du Nord* distribué à Valenciennes dans la soirée du samedi 30, et le lendemain, 1er décembre, nous nous sommes rendu sur les lieux avec M. l'ingénieur en chef Boudousquié.

L'examen de l'emplacement dans lequel la chaudière était établie nous a démontré d'abord que l'explosion n'avait pas produit de dégâts matériels considérables. Ces dégats se sont en effet réduits au renversement des carneaux de la chaudière sur une certaine longueur, et à la destruction de la partie tout-à-fait antérieure du foyer, celle située immédiatement au-dessus de la porte du fourneau. Les murs qui circonscrivaient l'emplacement du générateur et le séparaient soit des ateliers, soit de la cour de l'usine, n'avaient éprouvé aucun dommage; la toiture en pannes qui recouvrait cet emplacement et le carrelage de la plate-forme du fourneau nous ont paru n'avoir subi aucun dérangement.

La rupture de la chaudière a eu malheureusement pour les ouvriers de la fabrique des résultats beaucoup plus graves. Elle a eu lieu vers cinq heures et demie du matin, une demi-heure environ avant le moment où les ouvriers appelés à travailler le jour devaient remplacer ceux qui avaient passé la nuit dans l'établissement. Huit personnes se trouvaient alors devant le foyer; le chauffeur d'abord, et en outre sept ouvriers qui, arrivés à l'usine avant l'heure précise à laquelle ils devaient reprendre le travail, avaient été se réchauffer devant la chaudière. Ces huit personnes ont été brûlées en général très-dangereusement, et deux d'entre elles ont succombé à leurs blessures.

Avant d'entrer dans le détail des faits spéciaux relatifs à l'accident, nous croyons nécessaire d'indiquer en quelques mots comment les choses étaient disposées dans la fabrique de sucre des sieurs Lemer, Dupriez et Cie.

Cette fabrique a été construite dans le courant de l'année 1850, et elle a travaillé pour la première fois, le 30 septembre de ladite année. Elle avait pour moteur une machine à haute pression de la force de seize chevaux, faisant marcher la râpe, les presses, etc. : la vapeur était fournie à cette machine, ainsi qu'aux appareils de défécation, d'évaporation, de cuite, etc., par trois grands générateurs de forme et de dimensions identiques. La machine et les générateurs étaient neufs lorsqu'ils ont été montés chez les sieurs Lemer, Dupriez et Cie; ils avaient été livrés par le sieur Carion-Delmotte, constructeur à Anzin, et ils ont été permissionnés par un arrêté de M. le préfet du Nord en date du 30 septembre 1850.

Les trois générateurs étaient en tôle, de forme

cylindrique, terminés par des calottes hémisphériques, et pourvus chacun de deux tubes bouilleurs aussi en *tôle*. Ils présentaient les éléments communs dont le détail suit :

		mètres.
Corps principal.	Longueur.	10,44
	Diamètre extérieur. . .	1,10
	Epaisseur de la tôle. . .	0,010
Bouilleurs. . . .	Longueur.	10,66
	Diamètre extérieur. . .	0,55
	Epaisseur de la tôle. . .	0,008

D'après leur épaisseur et leur diamètre, ces générateurs avaient pu être essayés, et ils avaient, en effet, été estampillés, avant leur mise en activité, pour la pression totale de 4 1/2 atmosphères.

Ils étaient établis sur un même massif situé en dehors des ateliers de la fabrique. Leur emplacement est représenté sur la *fig.* 1 de la *Pl. X.* Cette figure est un croquis sans cote et simplement destiné à faire connaître la situation des lieux. On voit que l'emplacement des chaudières communiquait avec la cour de l'usine par deux portes ; ces deux portes restaient constamment ouvertes : l'une A servait de passage pour aller sur les fourneaux ; l'autre B, beaucoup plus large que la première, avait été faite pour l'introduction du charbon nécessaire à l'alimentation des foyers. L'emplacement dont nous parlons présentait une troisième porte C percée dans le mur qui le séparait des ateliers de la fabrique. Cette porte, placée à une certaine distance en avant des générateurs, établissait une communication entre ces générateurs et le cabinet de la machine. Les issues A, B, C ont joué un rôle très-utile dans l'accident dont nous avons à rendre compte ; c'est en grande partie à leur présence qu'il faut certaine-

ment attribuer le peu de désordres matériels occasionnés par l'explosion.

Les *fig.* 2, 3 et 4 représentent un des générateurs et la disposition de son fourneau. La flamme du foyer chauffait directement les bouilleurs et une partie de la surface inférieure de la chaudière. Cette flamme et les gaz produits par la combustion passaient ensuite dans un carneau situé à droite par rapport à un observateur qui regarderait par la porte du fourneau; ils léchaient en troisième lieu le flanc gauche de la chaudière, et se rendaient enfin à la cheminée d'appel.

Chaque générateur était muni de deux soupapes de sûreté, d'un flotteur ordinaire suspendu à une chaîne enroulée sur une poulie, et d'un flotteur d'alarme réglé de manière à fonctionner dès que le niveau de l'eau à l'intérieur s'abaissait à 5 centimètres au-dessus de la partie la plus élevée des carneaux, autrement dit à 5 centimètres au-dessus du plan horizontal passant par l'axe du générateur. Il n'existait ni robinets de jauge, ni tubes indicateurs du niveau de l'eau.

Les trois chaudières communiquaient entre elles par un tuyau de prise de vapeur dont l'axe est représenté en projection sur la *fig.* 1 par la ligne DE. Pour chacune de ces chaudières, le passage de la vapeur dans le tuyau commun DE pouvait être intercepté au moyen d'une soupape spéciale manœuvrée à la main. On avait donc la faculté de se servir d'une chaudière seulement, ou d'en faire marcher, suivant les besoins, deux ou trois à la fois.

Comme le tuyau commun de prise de vapeur avait un grand diamètre, $0^m,30$ environ, on n'avait placé pour le service des trois générateurs qu'un seul manomètre. Ce manomètre était du

système Bourdon. La vapeur y était conduite par trois tubes adaptés directement sur les chaudières.

L'alimentation de ces chaudières n'avait pas lieu d'une manière continue. L'eau envoyée par la pompe alimentaire de la machine arrivait dans un tuyau FG, (*fig.* 1), susceptible d'être mis en communication avec chaque générateur au moyen de soupapes analogues à celles de prise de vapeur. Ces soupapes habituellement fermées n'étaient ouvertes qu'au moment où on avait reconnu l'opportunité d'alimenter. Le mécanicien devait donc observer avec soin, pour chaque chaudière, les indications données par les flotteurs, et faire, en temps convenable la manœuvre nécessaire pour introduire l'eau fournie par la machine.

Après ces détails préliminaires, nous arrivons aux faits particuliers à l'explosion.

La chaudière qui a éclaté est celle H qui, dans le massif des fourneaux, occupait la position centrale. Aucun fragment de cette chaudière n'a été projeté; une seule des tôles qui la constituaient a été déchirée et sur une partie seulement de sa largeur. Cette feuille, placée à la partie inférieure du corps principal du générateur, est la seconde après la calotte antérieure IK (*fig.* 5). Elle s'est fissurée exactement suivant l'arête inférieure de sa courbure cylindrique, c'est-à-dire dans une direction perpendiculaire à celle du laminage : elle a donc cédé dans le sens où elle offrait le plus de résistance. Cette tôle avait une largeur totale de $1^m,22$; la déchirure commence à $0^m,21$ du bord le plus rapproché de la grille du fourneau et à $1^m,88$ du plan vertical tangent au sommet K de la calotte antérieure IK de la chaudière; elle présente une longueur totale de $0^m,79$. Elle occupait donc, relativement au foyer, la position comprise entre

les deux points L et M de la *fig.* 3. Ainsi, elle a commencé exactement au-dessus de l'autel du fourneau, et s'est produite à l'endroit où la flamme, passant entre les deux bouilleurs, devait atteindre directement pour la première fois la surface de la chaudière, en d'autres termes à l'endroit du plus fort coup de feu. On voit de plus sur la *fig.* 3 que le centre de la fissure est à $1^m,20$ seulement du tuyau vertical par lequel arrivait l'eau d'alimentation.

La déchirure de la tôle a été précédée d'une déformation de la chaudière dont le diamètre vertical a augmenté d'une manière notable. La *fig.* 6 est une coupe transversale passant par le point le plus bas du renflement qui s'est formé. Cette coupe est représentée dans la position où elle serait aperçue si on regardait par la porte du fourneau. Les deux lèvres de la fissure y présentent un intervalle de $0^m,07$, et elles ne sont pas également écartées de leur position primitive. Celle de droite se trouve de $0^m,02$ plus déprimée que celle de gauche. L'accroissement du diamètre vertical de la chaudière est de $0^m,13$ ou de $0^m,11$ suivant qu'on le mesure d'un côté ou de l'autre de la déchirure.

La *fig.* 7 est une coupe par le plan vertical passant par l'axe de la chaudière. Pour donner une idée de la forme longitudinale de la fissure, nous y avons représenté la projection du bord gauche de cette fissure, celui qui a été le moins déprimé.

Enfin la *fig.* 8 donne le plan de la tôle qui a éclaté. Ce plan reproduit les choses dans la position où elles se présenteraient si l'on supposait que la chaudière fasse une demi-révolution autour de son axe. Nous y avons tracé la projection de

l'intervalle de 0m,13 de largeur existant entre les deux bouilleurs, et celle des surfaces de contact de la chaudière avec les deux murs du premier carneau dans lequel s'engageait la flamme à sa sortie du foyer. On voit clairement sur la *fig.* 8 que la fissure a dans son ensemble une direction rectiligne, précisément celle de l'arête inférieure de la chaudière; mais que ses bords sont néanmoins tourmentés de manière à prouver que la tôle a offert une certaine résistance à la rupture.

Cette rupture et le renflement qui l'a précédée ont été nécessairement accompagnés d'une extension de la tôle. En effet, en mesurant d'une part la courbure NOQ de cette tôle dans un endroit où elle n'avait pas été altérée, en prenant d'autre part les longueurs des deux arcs égaux NP, QR, *fig.* 6, déterminés par l'explosion, nous avons trouvé pour ces deux dernières longueurs une différence en plus de 2 centimètres. Cette différence représente l'allongement subi par la tôle.

En même temps, et c'est là un fait corrélatif, l'épaisseur de cette tôle a diminué; cette épaisseur n'était plus, sur les deux bords de la fissure, que de 8 millimètres, et il a été facile de s'assurer que l'amincissement ne s'étendait guère qu'à une largeur de 5 centimètres de chaque côté de la déchirure.

La comparaison de ces chiffres permet de démontrer jusqu'à un certain point que la tôle n'avait éprouvé aucune détérioration sensible avant l'accident du 29 novembre. En effet, après cet accident, nous trouvons à la partie inférieure de la chaudière une surface large de 0m,10, longue, comme la fissure, de 0m,79, pour laquelle l'épaisseur n'est que de 0m,008. Le cube de métal qui

correspond à cette surface est très-sensiblement $0,10 \times 0,079 \times 0,008$. Prenons maintenant avant l'explosion, alors que l'épaisseur était encore de $0^m,01$, une surface ayant la même longueur $0^m,79$, et cherchons quelle largeur elle doit avoir pour déterminer le même cube de métal ; cette largeur est $\frac{0,10 \times 0,79 \times 0,008}{0,79 \times 0,01} = 0,08$, c'est-à-dire plus petite de 2 centimètres. Ce résultat est tout à fait d'accord avec celui fourni par l'observation. Ainsi l'allongement de la tôle et son amincissement paraissent en rapport l'un avec l'autre. Les calculs qui précèdent, bien qu'ils ne soient pas tout à fait rigoureux, nous semblent donc permettre de conclure que la diminution d'épaisseur n'a pas été le résultat d'une détérioration antérieure à l'accident, qu'elle est simplement un des effets produits par cet accident.

A part la déchirure dont nous venons de faire la description, le générateur qui a éclaté ne présentait aucune lésion visible pour nous lors de notre visite du 1er décembre. Ce générateur était en effet encore entouré de sa maçonnerie, et par conséquent inaccessible dans les parties qu'il eût été intéressant d'examiner ; il avait été seulement légèrement déplacé par la force de réaction déterminée par l'explosion. Ainsi les orifices des tubes, *fig.* 3, se trouvaient élevés et suspendus à $0^m,03$ au-dessus de la plaque de fonte ST qui les supportait d'abord et formait l'encadrement de la porte du fourneau.

La chaudière avait été nettoyée pour la dernière fois, nous a-t-on assuré, le 28 octobre, un peu plus d'un mois avant l'accident ; elle n'était pas néanmoins très-sale à l'intérieur. Ainsi, sur la tôle fissurée, l'incrustation laissée par l'eau n'avait

pas plus d'un millimètre d'épaisseur. Mais il y avait en outre dans la chaudière une assez grande quantité de dépôt pulvérulent sans adhérence avec le métal.

Tels sont les faits constatés dans notre première visite de la fabrique de sucre des sieurs Lemer, Dupriez et Cie. Avec les éléments dont nous disposions, et en attendant que, la tôle déchirée ayant été séparée de la chaudière et retirée du fourneau, il nous fût possible d'examiner sa nature et l'état de sa surface externe, nous avons cherché à nous rendre compte des causes de l'explosion.

Les deux soupapes de sûreté étaient identiquement semblables. Lorsque nous avons voulu les faire démonter, l'une d'elles, précisément celle qui se trouvait associée au flotteur d'alarme, *fig.* 3, était tellement adhérente sur son siége qu'il a été impossible de l'en détacher. Elle ne pouvait évidemment pas fonctionner.

Chaque soupape avait un diamètre de $0^m,10$ plus que suffisant, eu égard au numéro 4 1/2 du timbre et à la surface de chauffe ($45^{mq},655$), de la chaudière.

Les deux bras de chaque levier avaient respectivement des longueurs de $0^m,075$ et de $0^m,815$. Le rapport du plus petit au plus grand était 0,092. Le levier lui-même avait un poids de 4 kilogrammes et exerçait sur la soupape une charge de 18,66 kilogrammes.

Le poids suspendu à l'extrémité du levier était de 28 kilogrammes.

Enfin chaque soupape pesait 1,75 kilogrammes.

Il est facile de déduire de ces éléments la pression à laquelle les soupapes devaient théoriquement se lever :

	kil.
Poids de la soupape.	1,75
Charge produite par le levier.	18,66
Poids calculé pour produire sur la soupape, en le supposant appliqué au point de pression du levier, le même effet que celui de 28 kil. suspendu à l'extrémité de ce levier, $\frac{28 \text{ kil.}}{0{,}092}$	304,34
Charge totale de la soupape. . .	324,75

Comme cette soupape avait une surface de 78,50 centimètres carrés, chaque centimètre carré supportait une pression de 4,13 kilogrammes. Les soupapes étaient donc combinées de manière à se lever dès que la tension totale de la vapeur dans les chaudières dépasserait 5 atmosphères. Elles étaient par conséquent un peu trop chargées. Mais cette circonstance n'a pu avoir aucune influence pour déterminer l'accident qui nous occupe, les générateurs ayant évidemment une force plus que suffisante pour résister à une pression effective de 4 atmosphères s'exerçant à l'intérieur.

Nous ne saurions dire d'ailleurs si, jusqu'au moment de l'explosion, la tension de la vapeur s'est élevée aussi haut. Il nous a été affirmé au contraire par les témoins que nous avons interrogés que le manomètre n'avait jamais marqué plus de 4 1/2, et ce manomètre, d'après la manière dont il est gradué, indiquait la pression totale de la vapeur.

La rupture de la chaudière ne pouvait donc être attribuée à ce que cette chaudière marchait habituellement à une tension notablement plus élevée que celle pour laquelle elle avait été éprouvée et permissionnée. Les faits que nous avons déjà reproduits dans le cours de ce rapport conduisaient d'ailleurs à une autre explication qui paraît la

véritable; d'après la position relative de la tôle déchirée, il était probable que cette tôle avait été exposée, sans être couverte d'eau intérieurement, à la flamme du foyer; qu'elle avait été chauffée au rouge; qu'ayant ainsi perdu une partie de sa ténacité, elle avait peut-être commencé à se déformer par le fait de la pression normale de la vapeur; qu'elle s'était ensuite fissurée au moment où on avait essayé d'introduire de l'eau dans la chaudière. Ces hypothèses étaient pleinement confirmées par les observations suivantes:

1° Les victimes de l'accident ne sont en général blessées qu'à la figure et aux mains, c'est-à-dire aux parties du corps qui se trouvaient à nu. Il est donc à présumer qu'elles n'ont été brûlées que par de la vapeur. Si en effet de l'eau à une température élevée s'était échappée de la chaudière au moment de l'explosion, et avait atteint les ouvriers placés devant la porte du fourneau, ces ouvriers n'eussent pas été préservés par leurs vêtements. Les vêtements eussent peut-être même été la cause de brûlures plus graves en s'imbibant d'eau bouillante et en prolongeant le contact de cette eau avec les parties du corps qu'ils recouvraient. Ainsi il paraît certain qu'au moment de l'accident la chaudière ne contenait plus d'eau.

2° Il est resté évident pour nous, d'après l'examen de l'état interne du générateur, que si ce générateur avait renfermé de l'eau, elle n'aurait pu en être expulsée sans entraîner avec elle le sédiment blanchâtre qu'elle contenait en abondance. Projetée par l'effet de la pression de la vapeur, cette eau aurait au moins frappé les parois du foyer et du cendrier en y laissant des marques de son passage. Nous n'avons trouvé sur ces parois aucune trace de l'enduit qui y eût été infailible-

ment déposé. Ce second fait confirme la conclusion énoncée il n'y a qu'un instant.

3° L'explosion est arrivée vers 5 1/2 heures du matin, et le travail de la fabrique n'a pas été interrompu. Le chauffeur, qui a remplacé immédiatement pour le service des foyers celui qui avait été brûlé, nous a déclaré avoir commencé son travail à 6 1/2 heures et n'avoir pas été gêné par la présence de l'eau sur le pavage de l'avant-foyer. Or ce pavage est à une profondeur assez grande au-dessous du sol. Si la chaudière avait renfermé de l'eau en masse un peu notable, si, comme cela devait être d'après sa capacité, elle en avait contenu au moins 48 hectolitres, cette eau, s'échappant par la déchirure et ne pouvant séjourner qu'en petite quantité dans les gargouilles, eût certainement rempli jusqu'à une certaine hauteur l'espace réservé pour le chauffeur; et, avant de pouvoir approcher des foyers, il eût fallu laisser refroidir cette eau et l'épuiser ensuite à l'aide de seaux. Or le contre-maître de la fabrique, qui est arrivé sur les lieux très-peu de temps après l'accident, nous a déclaré qu'aucun épuisement semblable n'avait été nécessaire. On doit en conclure qu'il n'y avait pas d'eau dans l'avant-foyer, et par suite pas d'eau dans la chaudière.

4° Le peu de dégats occasionnés par l'explosion est encore une preuve manifeste du manque d'eau: il en résulte effectivement qu'il n'y a pas eu, après la rupture, de pression prolongée, que les effets de cette rupture ont été pour ainsi dire instantanés. Si au contraire il y avait eu de l'eau dans la chaudière, cette eau s'écoulant par la déchirure, l'espace délaissé par elle se serait rempli au fur et à mesure par de la vapeur formée aux dépens de la chaleur accumulée dans le système; il y aurait

donc eu pendant un certain temps continuité de pression, par suite travail moteur, et les conséquences de l'explosion eussent été beaucoup plus désastreuses. D'après les faits observés, nous nous croyons en droit de conclure, non-seulement que l'eau manquait dans la chaudière, mais qu'elle manquait sans doute aussi dans les bouilleurs.

Les premiers résultats de l'enquête commencée le 1[er] décembre nous conduisaient donc nécessairement à cette conclusion que la chaudière n'avait *pas été* alimentée. Si cette conclusion était exacte on devait en trouver la preuve matérielle à l'inspection de la surface extérieure de la tôle déchirée. Nous n'avons pu voir cette tôle que le 5 décembre, après qu'elle eut été séparée de la chaudière, et les caractères qu'elle nous a présentés ne nous ont laissé aucun doute sur le défaut d'alimentation.

La tôle était de bonne qualité, comme l'avaient fait prévoir son extension avant de se rompre et l'état tourmenté des bords de la déchirure. Cette tôle, bien que fabriquée simplement avec de la fonte au coke affinée au four à puddler, était nerveuse et bien soudée.

Elle était couverte de peroxyde rouge de fer sur presque toute la portion de sa surface externe exposée à l'action directe de la flamme. Malgré les chocs violents auxquels elle avait été soumise pendant que, pour la détacher, on coupait les rivets fixés sur son contour, elle offrait encore par places une couche d'oxyde des battitures ayant l'apparence d'une matière fondue et donnant, quand on l'écrasait, une poussière noirâtre. Il est donc parfaitement prouvé que la tôle avait été fortement brûlée. Sa température avait été portée au rouge; et, sous l'influence de cette température, il y avait eu production d'oxyde des battitures; la chaleur

rouge avait même été assez prolongée pour déterminer la formation de peroxyde.

Enfin, l'état de la surface externe de la tôle et l'examen des autres parties de la chaudière nous ont fourni de nouvelles preuves du manque d'eau dans cette chaudière.

Lorsque la rupture s'est déclarée, les matières projetées par l'effet de la pression intérieure ne l'ont pas été verticalement de haut en bas. Les deux bords de la fissure étant inégalement déprimés, ces matières se sont échappées dans une direction oblique par rapport à l'horizon et peu différente de la tangente à la courbure QR (*fig.* 6). La vapeur se détendant immédiatement après sa sortie de la chaudière, le flanc PN de cette chaudière a dû être frappé directement par les matières entraînées; et, s'il y avait eu de l'eau, il eût été inévitablement couvert de sédiment blanchâtre. Il existe en effet quelques traces de ce sédiment, mais elles sont limitées à une portion assez restreinte UVX (*fig.* 8), de la surface de la tôle.

Les choses paraissent donc s'être passées comme si une petite quantité de matière boueuse, sortant avec la vapeur, avait laissé sur la paroi extérieure de la chaudière le dépôt qu'elle contenait.

D'autre part le générateur qui a fait explosion n'était pas endommagé seulement à l'endroit de la tôle déchirée. Le coup de feu avait produit son effet, comme on devait le prévoir, sur d'autres tôles dont les rivets avaient pris du jeu. Enfin les bouilleurs eux-mêmes avaient été déformés : ils s'étaient arqués, et on a dû les dériver comme la chaudière. Ce dernier fait établit avec évidence le défaut d'une quantité d'eau suffisante; et, si cette eau manquait dans les tubes, il est clair qu'il n'en

pouvait rester dans le corps principal du générateur.

Il est incontestable, nous le répétons, qu'il y a eu manque d'eau dans la chaudière (1). Maintenant l'*explosion* a-t-elle été déterminée par la pression *normale* de la vapeur agissant sur une tôle *rougie* et brûlée, ou faut-il admettre qu'il y a eu *instantanément* une pression accidentelle et très-forte produite par l'introduction de l'eau dans la chaudière et son contact avec le métal à une température élevée? Il nous paraît certain qu'il y a eu introduction d'eau immédiatement avant l'explosion. La force de réaction, résultat de cette explosion, a été en effet capable de soulever le générateur qui se trouvait relié avec les deux autres par le tuyau de prise de vapeur et par celui d'alimentation, générateur dont le poids était en outre considérable et égal à 7,452 kilogrammes. Or cette force de réaction dépend de deux éléments, la pression intérieure et la surface sur laquelle elle a exercé son effet. Cette surface, qui n'est autre que la *projection* de celle de la fissure, était très-petite; la pression intérieure a donc été très-élevée et notablement supérieure à celle à laquelle la chaudière fonctionnait habituellement.

En résumé les causes de l'accident arrivé à

---

(1) Cependant il est bien établi par l'enquête que le sifflet d'alarme n'a pas fonctionné. Il n'y a pas lieu de s'étonner de cette circonstance. Qu'on se rappelle en effet que le flotteur d'alarme était placé à proximité d'une soupape de sûreté tellement adhérente qu'il nous a été impossible de la détacher de son siége. L'état de cette soupape dénotait un défaut de soin habituel de la part des agents chargés de la conduite des chaudières, et il y a lieu de penser que le sifflet s'était encrassé, comme la soupape, au point de ne pouvoir plus fonctionner.

Bruille-lez-Saint-Amand sont évidentes, et il est actuellement facile d'en expliquer toutes les circonstances. Une fois qu'il est prouvé qu'il y avait manque d'eau dans la chaudière, il faut admettre, et c'est un fait bien prouvé d'ailleurs, que le métal a été porté à la chaleur rouge. La tôle qui s'est déchirée est celle qui devait, vu sa position par rapport au foyer, acquérir la plus haute température. Elle était échauffée directement par la flamme qui, en se laminant entre les deux bouilleurs très-rapprochés l'un de l'autre, prenait pour ainsi dire la forme d'un dard; il s'est donc produit un effet plus ou moins analogue à celui du chalumeau. La tôle, atteinte suivant son arête inférieure par l'extrémité de la flamme, c'est-à-dire par la partie la plus oxydante, a dû s'échauffer, se détériorer plus énergiquement que toute autre; et c'est dans le sens de la partie ainsi suréchauffée et altérée, que la déchirure a eu lieu au moment de l'arrivée de l'eau d'alimentation dans la chaudière.

L'explosion de cette chaudière est sans aucun doute le résultat d'un défaut de soin et d'imprudences dont les auteurs doivent être poursuivis correctionnellement. Les propriétaires de la fabrique sont en outre responsables des conséquences désastreuses de l'accident. Si en effet cet accident a eu des suites aussi fâcheuses, c'est qu'on avait laissé pénétrer dans l'emplacement des générateurs sept ouvriers qui n'y étaient pas appelés par leur service et n'avaient rien à y faire. Une semblable tolérance ne devrait jamais exister dans un établissement bien ordonné. Elle est d'ailleurs formellement défendue par les instructions.

NOTICE

Sur les explosions d'appareils à vapeur qui ont eu lieu en France pendant les années 1849 et 1850.

Depuis quelques années plusieurs rapports ont été publiés sur des explosions de chaudières à vapeur; ils en ont fait connaître toutes les circonstances jusque dans leurs moindres détails. Dans cette notice, qui est relative aux explosions survenues pendant les années 1849 et 1850, on se bornera à indiquer pour chaque cas particulier les circonstances principales. Ce résumé suffira pour prouver qu'on aurait évité ces accidents en exécutant avec soin les prescriptions des règlements.

N° 1. — Dock flottant du port de Marseille.

Au dock flottant du port de Marseille, le 3 février 1849, la chaudière a crevé; elle s'est ouverte sur le devant quelques moments après que le chauffeur avait prévenu qu'il était prêt à mettre la machine en train. Malgré cet arrêt inattendu, il paraît que les soupapes n'ont pas soufflé. Il a été constaté qu'elles étaient surchargées de poids équivalents à environ une demi-atmosphère. L'une d'elles n'avait pas fonctionné depuis longtemps, elle adhérait fortement sur son siége, la ligne de jonction était recouverte d'une couche de rouille; ce n'est qu'en frappant à coups de mar-

deux tuyaux, l'eau contenue dans un réservoir placé à un étage supérieur. La tension de la vapeur ne pouvait habituellement dépasser un tiers d'atmosphère de pression effective; mais le jour de l'accident, il faisait froid, l'eau s'est gelée dans l'intérieur des tuyaux destinés à établir la communication entre la chaudière et le réservoir; les tuyaux étaient obstrués par la glace qui s'y était formée; la vapeur n'avait plus d'issue, elle a brisé l'enveloppe qui la renfermait.

On emploie beaucoup de chaudières de ce genre; elles sont d'un usage fort commode; elles ne présentent aucun danger, pourvu que l'on ait soin de veiller à ce que la circulation de l'eau ne soit interrompue par aucun obstacle.

Il convient de disposer les chaudières de manière qu'elles puissent être visitées et complétement débarrassées des dépôts terreux qui s'attachent aux parois après quelque temps de service.

N° 4. — Petite chaudière chez un apprêteur à Lyon.

Le 29 juin 1850, une petite chaudière en cuivre placée dans un atelier d'apprêteur d'étoffes, à Lyon, s'est ouverte tout à coup avec fracas, sur toute sa longueur, dans la partie inférieure située au-dessus du foyer. Le bruit de l'explosion a retenti dans toute la maison; un instant auparavant l'on y avait entendu marcher la pompe d'alimentation.

Le chauffeur s'était endormi, et avait laissé la chaudière manquer d'eau; il a ensuite ouvert brusquement le robinet d'alimentation lorsque les parois étaient rouges, il en est résulté une explosion. Cet accident est dû à l'imprudence et à l'impéritie du chauffeur, qui en a été la seule victime : il a été grièvement blessé.

Le 29 novembre 1850, dans une fabrique de sucre, à Bruille, une chaudière a fait explosion; huit personnes ont été brûlées, l'une d'elles a péri. La feuille de tôle qui formait la seconde virole de la chaudière s'est déchirée sur une longueur de $0^m,60$ suivant la génératrice inférieure du cylindre, près de l'autel, dans la partie même où le coup de feu était le plus violent. N° 5. — Chaudière dans une fabrique de sucre à Bruille.

Il paraît constant que le chauffeur a laissé la chaudière manquer d'eau, et qu'il a ensuite brusquement alimenté.

C'est encore à un défaut d'alimentation que l'on a attribué l'explosion qui a eu lieu le 11 juin 1850, dans une fonderie près de Marseille. Cet accident a répandu l'épouvante dans la ville. Les dégâts matériels ont été considérables : des maisons ont été renversées, des fragments de la chaudière, des pièces de bois, des pierres ont été projetées à une grande distance, jusque sur la grande route de Toulon et même au delà; des bâtiments voisins ont été endommagés. Un ouvrier a été tué; il a été enseveli sous les décombres, d'où il n'a été retiré qu'après plusieurs heures de travail. Trois ouvriers ont été blessés grièvement, cinq autres l'ont été légèrement. N° 6. — Dans une fonderie près de Marseille.

Dans une fabrique de Rouen, une explosion due à une cause toute différente a eu lieu le 5 septembre 1850. N° 7. — Chaudière dans une filature à Rouen.

Une feuille de tôle de $2^m,29$ de longueur sur $0^m,76$ de largeur, placée à la partie inférieure d'un bouilleur, s'est détachée tout à coup; elle a été projetée sur le cendrier, elle a emporté avec

elle les bords des feuilles voisines, qui semblent avoir été coupées.

La chaudière s'est relevée verticalement; elle est restée appuyée contre un angle du local qui renferme le fourneau. Ce local est fermé de trois côtés par des murs très-solides; la face antérieure donnant sur la cour et la toiture ont été au contraire construites en matériaux légers. Cette disposition, qui est conforme aux prescriptions des règlements, a sauvé la vie du chauffeur; elle a de plus préservé de toute atteinte 200 ouvriers qui travaillaient dans le voisinage de la machine au moment de l'explosion.

Il a été constaté que la tôle employée était de mauvaise qualité, que dans un intervalle de huit mois on avait réparé *sept* fois les bouilleurs de cette chaudière; qu'immédiatement après une réparation une feuille de tôle avait dû être changée, parce qu'elle présentait des gerçures. Toutes ces réparations ont été faites sans qu'il en eût été donné avis à l'administration (art. 71, ordonnance du 22 mai 1843); les chaudières n'ont point été soumises à une épreuve à la presse hydraulique.

Après une enquête faite sur les lieux avec beaucoup de soin, l'explosion a été uniquement attribuée à la mauvaise qualité de la tôle employée.

Il y a effectivement quelques fabricants qui emploient aujourd'hui dans la construction des chaudières des tôles mal fabriquées et peu résistantes.

Les acheteurs doivent se défier des bons marchés; ils doivent repousser les produits pour lesquels ils n'obtiennent une diminution de prix qu'aux dépens de la solidité et de la durée. Il n'y

a pas d'économie à acheter une chaudière à bas prix, si elle n'est pas suffisamment résistante, si elle devient la cause de chômages fréquents.

Le 8 septembre, un bouilleur d'un remorqueur de la Seine-Inférieure, *le Rouen*, a crevé à la distance de 2 kilomètres au-dessous de Villequier. Un trou ovale de $0^m,56$ de longueur et de $0^m,23$ de largeur s'est ouvert tout à coup à l'endroit où le coup de feu est le plus vif. La tôle semble avoir été coupée; le morceau s'est détaché brusquement, il a été projeté sur le cendrier; l'eau bouillante et la vapeur se sont précipitées dans le local occupé par la machine; un chauffeur a été tué et un autre a été grièvement blessé.

N° 8. — Sur le remorqueur *le Rouen*.

L'examen immédiat des bouilleurs a prouvé que plusieurs d'entre eux présentaient à l'endroit du coup du feu des bosses faisant saillie sur la surface cylindrique; elles avaient $0^m,40$ à $0^m,60$ de longueur, sur $0^m,20$ à $0^m,35$ de largeur et $0^m,03$ à $0^m,05$ de saillie. Sur d'autres bouilleurs on voyait, dans une situation analogue, des pièces de tôle nouvellement rapportées.

Le mécanicien savait que l'apparition d'une de ces bosses annonçait un danger imminent, il avait reconnu qu'une bosse se formait, il avait donné l'ordre de jeter le feu lorsque l'explosion a eu lieu.

Il a été constaté que pendant la traversée on ne faisait aucune extraction d'eau; on a trouvé dans l'un des bouilleurs de l'eau qui contenait 92 pour 100 de parties salines.

Cette circonstance suffit pour expliquer la formation des bosses et l'explosion qui en a été la conséquence. On sait depuis longtemps que pour

conserver les chaudières alimentées avec de l'eau salée, pour empêcher qu'elles ne se couvrent d'incrustations salines, et par suite qu'elles ne se brûlent et se détruisent rapidement, il est nécessaire de faire des extractions d'eau fréquentes. L'instruction du 5 juin 1846 recommande de renouveler cette opération au moins toutes les demi-heures.

N° 9. — Soultzmatt, Haut-Rhin.

A Soultzmatt, dans le département du Haut-Rhin, le 21 septembre 1850, l'enveloppe d'une machine du système Woolf s'est brisée en éclats.

La partie située du côté des tiroirs s'est détachée avec violence de l'autre moitié; il y a eu un grand nombre de fragments qui ont été projetés dans le local de la machine et dans un atelier contigu; un morceau, du poids de 5 kilogrammes, a été lancé à une distance de 9 mètres, un autre, du poids de $8^k,5$, a fait un trou de 5 centimètres de profondeur dans un mur situé à la distance de $6^m,80$.

Il y avait des ouvriers dans l'atelier, mais heureusement aucun d'eux n'a été atteint par les éclats de fonte qui y ont été projetés.

On a remarqué dans la fonte quelques soufflures, mais elles étaient placées dans des parties qui semblaient présenter une grande résistance.

La machine marchait sans autorisation; le cylindre portait le timbre 4 1/2.

Les poids employés à charger les soupapes n'avaient été ni contrôlés ni timbrés; il a été reconnu qu'ils étaient beaucoup trop lourds.

La surcharge était au moins de 2 atmosphères; elle s'est élevée à 5 atmosphères, si l'on admet

comme exacts quelques renseignements qui ont été recueillis sur les lieux.

L'accident paraît devoir être attribué à la surcharge des soupapes.

C'est un nouveau fait qui prouve que l'on doit s'assurer avec soin que toutes les pièces de ce genre satisfont à toutes les conditions de sûreté prescrites par les règlements.

Il y a eu dans les années 1849 et 1850 neuf explosions : deux sont relatives à des appareils mobiles, et sept à des appareils fixes. Résumé.

L'explosion de la chaudière de locomotive est due à un vice de construction qui devait sauter aux yeux d'un chef d'atelier attentif.

Celle du bouilleur du bateau remorqueur, tient à ce qu'on a négligé de faire les extractions d'eau recommandées par l'instruction du 5 juin 1846.

Pour les machines fixes, il n'y a eu qu'une seule explosion en 1849, pendant que l'on en compte six en 1850. De même, en 1848, il n'y a eu que deux explosions, pendant qu'il y en a eu dix l'année précédente.

Cela semble indiquer que le nombre d'accidents s'accroit rapidement, lorsque le travail dans les fabriques prend une grande activité. Cet accroissement serait sans doute moins rapide, si les fabricants n'étaient pas dans l'usage de prendre des chaudières trop petites; il en résulte plusieurs inconvénients; il faut rendre la combustion très-active, ce qui détruit rapidement la chaudière; la hauteur du plan d'eau y éprouve des variations fréquentes, et l'on est souvent tenté de surcharger les soupapes, pour ne pas laisser perdre inutilement dans l'atmosphère la vapeur qui se forme

dans les moments de repos, et que l'on veut ménager pour les besoins de la machine.

Il eût été très-facile d'ailleurs d'éviter les explosions qui ont eu lieu en 1849 et 1850. On peut s'en convaincre en se rappelant quelques-unes des circonstances qui ont été signalées dans chaque cas particulier.

N° 1. Au dock flottant de Marseille, les soupapes étaient surchargées, elles ne jouaient pas librement, elles ne pouvaient pas être soulevées même par une pression correspondante à l'excès de poids que l'on y avait placé.

N° 9. Dans la filature de Saultzmatt, les appareils n'étaient pas permissionnés, on y faisait usage de poids beaucoup trop lourds pour charger les soupapes.

N° 3. A l'hospice des aliénés de Blois, les tuyaux de circulation d'eau, qui faisaient fonction de soupapes, étaient obstrués par la glace qui s'y était formée. On aurait dû ne pas allumer le feu avant de s'être assuré que l'eau chaude avait une libre issue au dehors de la chaudière.

N° 7. A Rouen, des réparations nombreuses et importantes ont été faites à une chaudière sans qu'il en ait été donné avis à l'administration; on a employé de la tôle de mauvaise qualité; après les réparations faites, la chaudière n'a été soumise à aucune épreuve.

Enfin on a laissé manquer d'eau les chaudières désignées sous les n°s 5 et 6; on les a ensuite alimentées brusquement, lorsque les parois étaient rouges.

Toutes ces négligences constituent des contraventions aux dispositions de l'ordonnance du 22 mai 1843 (art. 24, 30 et 71); elles ont déter-

miné des accidents qui ont causé la mort de cinq personnes et des blessures à sept autres.

L'ingénieur en chef, secrétaire de la commission
des machines à vapeur,

T. LORIEUX.

La commission, après en avoir délibéré, a approuvé le projet de notice ci-dessus.

L'inspecteur général des mines, président
de la commission;

L. CORDIER.

NOTE

Sur la rupture d'un cylindre employé dans une fabrique de sucre à Arleux (Nord), pour le clairçage du sucre.

(APPENDICE A LA NOTICE PRÉCÉDENTE.)

Le 18 décembre 1850, un accident déplorable a eu lieu dans une fabrique de sucre à Arleux, arrondissement de Douai.

Un appareil rotatoire employé pour l'égouttage et le clairçage des sucres s'est brisé, des éclats de divers grosseurs ont été projetés dans toutes les directions; trois hommes ont été tués, deux ont été blessés, des tuyaux ont été rompus, des pièces de tôle ont été percées, les murs de l'atelier ont été profondement sillonnés. Cet appareil ressemble beaucoup à celui pour lequel MM. Rolhs et Seirig ont pris un brevet d'invention, et qui est aujourd'hui employé dans un grand nómbre de fabriques en France et en Angleterre; il en diffère beaucoup toutefois sous le rapport de la solidité.

Il se compose essentiellement d'un cylindre creux en fonte, dans lequel on place la matière sucrée; la surface est percée d'un grand nombre de trous (910) d'un centimètre de diamètre; on lui imprime une vitesse 1.000 à 1.200 tours par minute; le liquide est projeté au dehors, il est reçu dans une enveloppe extérieure, pendant que le

sucre reste appliqué contre le treillis métallique qui est placé à l'intérieur.

Le cylindre est en fonte, il a $0^m,80$ de diamètre et $0^m,30$ de hauteur; la paroi a $0^m,006$ d'épaisseur, avec une vitesse de 1.000 tours par minute; la force centrifuge exerce sur la paroi en fonte une tension égale à $4^k,67$ par millimètre carré; si la vitesse atteint 1.320 tours par minute; la tension devient égale à $9^k,69$ par millimètre carré; elle est presque équivalente à la résistance absolue que peut offrir la paroi en fonte.

L'ingénieur en chef des mines du département du Nord qui a calculé la tension produite sur la paroi cylindrique par l'action de la force centrifuge, a conclu avec raison des résultats qu'il a obtenus, que l'appareil employé à Arleux était dangereux, et qu'il ne convenait pas d'employer la fonte pour des cylindres qui doivent être animés d'une aussi grande vitesse rotatoire.

Les appareils de MM. Rolhs et Seirig n'offrent point le même danger; le cylindre est construit en métal ductile; on l'a fait d'abord avec de la tôle, mais on y a renoncé parce que ce métal ne présente pas assez de résistance, on y a substitué de la tôle de fer.

Il y a un grand nombre de ces appareils rotatoires établis dans les raffineries des environs de Paris; ils n'ont donné lieu à aucun accident.

Le secrétaire de la commission des machines à vapeur,

T. LORIEUX.

ANALYSE

D'un minerai d'antimoine de la province de Constantine;

Par M. E. CUMENGE, ingénieur des mines.

En faisant l'analyse d'un minerai d'antimoine en masse cristalline remis au bureau d'essai de l'École des mines comme provenant des environs de Constantine, j'ai trouvé que la quantité d'antimoine métallique qu'il renferme ne correspond pas à la composition de l'oxyde d'antimoine Sb^2O^3, minerai déjà connu dans la même province et analysé à l'École des mines; il m'a semblé intéressant de rechercher directement la quantité d'oxygène existant dans le minerai, afin de pouvoir juger s'il présente une composition définie.

Pour arriver à ce but, j'ai employé un procédé de dosage indiqué par M. Ebelmen, et qui m'a paru donner des résultats exacts en ayant soin de prendre les précautions convenables. Le procédé consiste à rechercher la quantité de chlore que dégage un poids donné de bichromate de potasse en le traitant par l'acide chlorhydrique, puis à comparer cette quantité avec celle qui se dégage lorsqu'au même poids de bichromate on ajoute un poids connu du minerai oxydé que l'on veut analyser; si dans ce dernier cas la quantité de chlore est moindre, la différence aura été employée à faire passer l'oxyde à son maximum d'oxydation.

Le dosage du chlore se fait par le procédé

chlorométrique ordinaire qui consiste à recevoir le dégagement dans une dissolution acide de chlorure de baryum en même temps qu'un courant d'acide sulfureux. En opérant avec soin, il est facile d'arriver à un poids constant de sulfate de baryte pour plusieurs opérations faites sur les mêmes quantités.

Lorsque l'on connaît la quantité de chlore absorbée par le minerai dans sa peroxydation, on trouve facilement l'oxygène correspondant; par un dosage spécial au moyen du sulfhydrate d'ammoniaque, on peut trouver l'antimoine métallique, puis calculer l'oxygène combiné à ce poids pour former Sb^2O^5, et en en retranchant le poids d'oxygène trouvé dans l'expérience chlorométrique, on a celui qui existe réeellement dans le minerai. En opérant ainsi, je suis arrivé à la composition suivante :

Gangue argileuse	0,03
Oxyde de fer	0,01
Antimoine	0,62
Oxygène	0,17
Eau	0,15
	0,98

Si l'on prend la formule



$$3Sb^2O^5\ 2Sb^2O^3 + 15\,HO,$$

on trouve en centièmes la composition suivante :

Antimoine	0,64
Oxygène	0,17
Eau	0,14

qui se rapporte assez à l'analyse, puisqu'il est probable que la perte de 0.02 a été faite sur l'antimoine.

EXTRAIT

d'une lettre adressée à M. le ministre des affaires étrangères, par M. Cazotte, consul-général de France à Santiago du Chili.

Santiago, 14 mars 1851.

Monsieur le ministre,

. . . .

. . . . . . La république du Chili est dans un merveilleux état de prospérité matérielle en ce moment. Les produits de ses mines, surtout de celles d'argent, prennent un accroissement continu ; chaque jour on découvre de nouveaux filons de la plus grande richesse. D'un autre côté, la vente des farines n'a rien perdu de son activité en Californie, et on compte sur une année très-productive, grâce à l'abondance des récoltes.

A l'appui de ce que je viens de dire sur la richesse croissante des mines du Chili, je joins ici trois tableaux où figurent les derniers résultats de celles des provinces de Coquimbo, du Huasco et de Copiapo.

			piastres.	Réaux.
Copiapo a donné, dans l'année 1850.			4.437.391	2
Le Huasco	—	—	727.282	»
Coquimbo	—	—	1.855.998	2
Total.			7.020.671	4

Soit, en francs, 35.103.357f,50.

Tableau de l'exportation de l'argent en barres, du minerai d'argent, du cuivre en barres, du cuivre régulus, du minerai de cuivre et du minerai de cobalt, du port de Coquimbo et des ports adjacents, pendant l'année 1850, avec les quantités, la valeur et la destination de ces métaux.

EN ANGLETERRE.						Amérique du Nord et Chine.		En France et Hambourg.		Dans les ports chiliens.	
Argent en barres.	Minerai d'argent.	Cuivre en barres.	Cuivre Régulus.	Minerai de cuivre.	Minerai de cobalt.	Cuivre en barres.	Minerai de cuivre.	Cuivre en barres.	Minerai de cuivre.	Cuivre en barres.	Minerai de cuivre.
Marcs de 8 onces.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.
6.678	2.99	48.224	37.039	2.147	3.068	38-229	14.945	18.028	1.023	220	1.453

TOTAL DES QUANTITÉS ET LEUR VALEUR EN PIASTRES.	Prix de l'unité.	piastres.	R.
6.678 marcs d'argent en barres.	10	66.780	
229 qqx. de minerai d'argent.	9	2.061	
104.700 qqx. de cuivre en barres.	14	1.465.800	
37.039 qqx. de cuivre régulus.	5,6	212.974	2
19.588 qqx. de minerai de cuivre.	4,5	93.043	
3.068 qqx. de minerai de cobalt.	5	15.340	
		1.855.998	2

Tableau de l'exportation de l'argent en barres, du minerai d'argent, du cuivre régulus, du cuivre en barres et du minerai de cuivre du port de Huasco, pendant l'année 1850, avec les quantités, la valeur et la destination de ces métaux.

EN ANGLETERRE.					Amérique du Nord.		A Hambourg.		Dans les ports chiliens.		
Barres d'argent.	Minerai d'argent.	Barres de cuivre.	Cuivre régulus.	Minerai de cuivre.	Barres de cuivre.	Minerai de cuivre.	Barres de cuivre.	Cuivre régulus.	Minerai d'argent.	Cuivre régulus.	Minerai de cuivre.
Marcs de 8 onces	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.
7.985	5.27	8.428	59.290	8.922	2.179	5.704	1.515	4.565	922	2.111	19.216

TOTAL DES QUANTITÉS ET LEUR VALEUR EN PIASTRES.	Prix de l'unité.	piastres.	R
7.955 marcs d'argent en barres.	10	77.550	
1.449 qqx. de minerai d'argent.	10	14.490	
12.122 qqx. de cuivre en barres.	14	169.708	
65.975 qqx. de cuivre régulus.	6	395.850	
33 842 qqx. de minerai de cuivre.	2,2	67.684	
		727.282	

Tableau de l'exportation de l'argent, du minerai d'argent, du cuivre en barres et du minerai de cuivre du port de Copiapo, pendant l'année 1850, avec les quantités, la valeur et la destination de ces métaux.

EN ANGLETERRE.			Dans les ports chiliens par bâtiments anglais et chiliens.		
Barres d'argent.	Minerai d'argent.	Minerai de cuivre.	Barres d'argent.	Barres de cuivre.	Minerai de cuivre.
Marcs de 8 onces.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Marcs de 8 onces.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.
116.379	5.299	17.976	291.802	379	7.842

TOTAL DES QUANTITÉS ET LEUR VALEUR EN PIASTRES.			
	Prix de l'unité.	piastres.	R.
408.180 marcs d'argent en barres.	10	4.081.800	
5.219 qqx. de minerai d'argent.	54,6	287.740	2
379 qqx. de cuivre en barres.	14	5.306	
25.818 qqx. de minerai d'argent.	2,4	64.545	
		4.437.391	2

EXTRAIT

Du compte rendu du service des mines dans la province de Constantine, pendant l'année 1850.

Par M. DUBOCQ, Ingénieur des mines.

Mines de fer des environs de Bône.

La concession de la Méboudja (1), dont les travaux ont été suspendus en 1848 par suite des difficultés financières dans lesquelles la compagnie concessionnaire était engagée, est demeurée inexploitée pendant l'année 1850; mais on annonce qu'une liquidation prochaine permettra d'imprimer une nouvelle activité aux travaux de cette mine et de l'usine de l'Alléhy qu'elle alimente.

Quant aux concessions du Bou-Hammra, des Kharézas et d'Aïn Morkha, qui ont été retirées par arrêtés ministériels du 14 septembre 1849, elles ne deviendront disponibles que lorsqu'il aura été statué par le conseil d'État sur le pourvoi formé par les concessionnaires évincés, contre la décision de M. le ministre de la guerre.

En admettant que cette décision soit prochainement confirmée, l'administration pourra disposer en faveur de l'industrie privée de sept mines de fer, qui présentent toutes des minerais remarquables par leur puissance et leur richesse, savoir :

(1) Le retrait de la concession des mines de fer de la Méboudja a été prononcé par arrêté ministériel du 28 mars 1851, pour cause de non-exploitation.

Les mines du Bou-Hammra,
Les mines des Karézas,
Les mines du Filfilah,
Les mines d'el M'Kimen,
Les mines de Bou-R'beïa,
Les mines de Marouania,
Et la mine d'Aïn-Morkha.

Les deux premières, régulièrement concédées et délimitées, pourront être immédiatement accordées à de nouveaux concessionnaires; les autres n'exigeront, pour la plupart, que l'étude d'une nouvelle délimitation établie d'après un plan régulier.

L'heureuse influence qu'un bon choix de concessionnaires et la valeur créée par l'exploitation de ces mines peuvent exercer sur la prospérité coloniale est si considérable, que nous croyons de notre devoir de chercher à faire apprécier ici d'une manière sommaire la valeur réelle de ces minerais et le parti qu'il nous paraîtrait le plus avantageux d'en tirer.

Depuis l'institution des concessions de 1845, qui ont produit de si pauvres résultats, un seul fait est venu ajouter quelques indications positives aux appréciations que la nature chimique des minerais, leur pureté, la puissance des gîtes avaient provoquées; nous voulons parler des expériences de la compagnie Talabot, dans lesquelles 1.537 quintaux métriques de minerai ont été transformés en fonte, en fer et en acier, et ont donné dans les diverses élaborations dont ils ont fait l'objet, les résultats les plus satisfaisants. En admettant que cette expérience qui a produit environ 300 q.m. d'acier, soit positive et concluante (ce dont l'administration peut facilement s'assurer, une partie des produits ayant figuré à l'exposition de 1849 et ayant sans doute appelé

l'attention du jury d'examen), et que les fontes obtenues avec les minerais des environs de Bône offrent une propension aciéreuse assez prononcée pour les faire rechercher par l'industrie, ces fontes seront *cotées* sur les marchés à un taux supérieur au *cours* moyen des fontes d'affinage, et comme les frais de fabrication demeurent sensiblement les mêmes, cette prime pourra être en partie reportée sur les minerais.

Or on consomme en France, dans les groupes de forges au bois de la Champagne et de la Bourgogne, de 3f,50 à 4 francs de minerai par quintal métrique de fonte; la valeur du minerai oxydulé consommé pour produire un quintal métrique de fonte aciéreuse peut donc s'estimer, en moyenne, à 5 francs, en portant à 1 franc la plus-value de ces minerais. D'après les nombreux essais qui en ont été faits, ils rendent de 50 à 65 p. 100 de fonte, et l'on consommera ainsi, en tenant compte des déchets, de la proportion de fer entraînée par les laitiers, etc., 2 quintaux de mine par quintal de fonte; ce qui porte la valeur du minerai rendu à l'usine à 2f,50 le quintal métrique.

Les frais d'extraction du minerai ne peuvent jusqu'ici s'estimer que par induction, aucune expérience concluante n'ayant été faite par les concessionnaires primitifs, qui ne se sont pas préoccupé des conditions économiques des exploitations irrégulières qu'ils avaient commencées.

Nous croyons pouvoir évaluer ce prix, en tenant compte de la puissance des couches, du mode d'exploitation par piliers tournés qui leur sera probablement appliqué, et qui permettra de faire sauter à la mine de grands blocs de minerais, au quadruple de celui que l'on paye aujourd'hui aux carriers par mètre cube de marbre exploité pour

moellons aux environs de Bône, soit à 8 francs par mètre. Le poids du mètre cube de mine étant de 2.200 kilogrammes, le prix d'extraction par quintal métrique sera de $0^f,363$, et en ajoutant $0^f,037$ pour frais généraux, de $0^f,40$.

Les frais de transport de la côte d'Afrique aux ports de la métropole étant, en moyenne, de 12 francs par tonne, savoir :

Frêt.	10 fr.
Frais d'embarquement et de débarquement, chapeau, etc.	2
Total.	12 fr.

soit de $1^f,20$ par quintal métrique, on voit que nos minerais pourront être expédiés avec avantage en France pour y être élaborés, toutes les fois que les frais de transport sur essieu de la mine au port d'embarquement laisseront un notable bénéfice aux concessionnaires. Ces frais, que l'on peut estimer à $0^f,40$ par tonne et par kilomètre dans les terrains peu accidentés que les minerais auront à parcourir sur des chemins de saison ou sur des routes mal entretenues, seront comme suit, pour les diverses mines que nous avons mentionnées plus haut :

Pour 1 q. m. de minerai.

DÉSIGNATION des mines.	Distance au port d'embarquement.	Frais de transport sur essieux.	Frais d'extraction.	Fret et frais d'embarquement.	Total des frais.	Prix de vente.	Différence.
	kil.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Bou-Hammra.	5	0,20	0.40	1,20	1,80	2,50	0,70
Kharezas.	12	0,48	0,40	1,20	2,08	2,50	0,42
El-M'Kimen.	19	0,76	0,40	1,20	2,36	2,50	0,14
Filfilah.	21	0,84	0,40	1,20	2,44	2,50	0,06
Bou-R'beïa.	27	1,08	0,40	1,20	2,68	2,50	»
Marouania.	30	1,20	0,40	1,20	2,80	2,50	»
Aïn-Morkha.	33	1,32	0,40	1,20	2,92	2,50	»

Nous omettons à dessein la concession de la Méboudja qui doit fournir les minerais nécessaires à l'usine de l'Alléby, dont elle est séparée par une distance moyenne de 7 kilomètres, et qui recevra, d'après les chiffres élémentaires adoptés ci-dessus, des minerais aux prix de 0f,68 le quintal métrique.

Quelque incomplet que soit ce tableau, dans lequel nous n'avons pas tenu compte des conditions spéciales de chaque mine, il établit que les mines du Bou-Hammra et des Kharézas pourront expédier avec avantage leurs minerais à des usines établies sur le littoral de la France. Dans les autres gisements, le traitement sur place serait plus avantageux, car en admettant que l'on consomme en moyenne 130 en poids de charbon, et 200 de mine pour 1 de fonte, les frais de transport seraient les suivants, dans la double hypothèse de l'exportation des minerais et du transport des charbons du port d'embarquement à l'usine, avec expédition des produits sur un même marché de vente :

Pour 1 quintal métrique de minerai.

DÉSIGNATION des mines.	MINERAIS EXPORTÉS.			MINERAIS traités sur place.			
	Transport.	Fret.	Total.	Transport. Charbon.	Transport. Fonte.	Fret de la fonte.	Total.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
El-M'Kimen	1,52	2,40	3,92	0,99	0,76	1,20	2,95
Filfilah	1,68	2,40	4,08	1,09	0,84	1,20	3,13
Bou-R'beia	2,16	2,40	4,56	1,40	1,08	1,20	3,68
Marouania	2,40	2,40	4,80	1,56	1,20	1,20	3,96
Aïn-Morkha	2,64	2,40	5,04	1,72	1,32	1,20	4,24

On voit d'après cela qu'il y aurait économie, à prix égal du charbon dans les ports de France ou de l'Algérie, à élaborer les minerais sur le lieu de production, et que cette combinaison pourrait même être adoptée pour les mines de Bou-R'beïa et de Maraounia, qui ne pourraient, avec les prix cités plus haut, exporter leurs mines qu'à perte, et qui, dans le cas actuel, en reportant tous les frais de transport sur le minerai et les ajoutant aux frais d'extraction, donneraient encore un bénéfice de 0f,52 et de 0f,24 par quintal métrique de fonte sur la valeur vénale du minerai correspondant. Il y aurait cependant avantage, dans ce cas, à rapprocher le plus possible l'usine du port d'embarquement, afin de n'avoir à transporter par essieux que 200 de minerai au lieu de 230 de charbon et de fonte. Les frais précédents se réduiraient dans ce cas au transport des mines à l'usine et à l'expédition des fontes; ils représenteraient ainsi par quintal métrique de fonte produite:

	fr.
El M'Kimen. . .	2,72
Filfilah.	2,88
Bou-R'beïa. . . .	3,36
Marouania. . . .	3,60
Aïn-Morkha. . .	3,84

et toutes les mines précitées pourraient élaborer économiquement leurs produits; mais cette combinaison, qui ne tient pas compte du prix élevé et variable des charbons que l'on devrait importer en Algérie, serait en dernière analyse peu avantageuse pour les mines éloignées du littoral, dont l'exploitation aurait à supporter des frais de transport considérables que le voisinage des forêts dont

la nature a si richement doté les environs de Bône permet heureusement d'éviter.

On rencontre, en effet, dans la zone littorale de Bône et de Philippeville, trois beaux massifs boisés, d'un peuplement variable comme essences, mais d'une importance comparable, au point de vue de la richesse forestière, et qui pourront offrir de précieuses ressources à l'industrie du fer de cette contrée. Ce sont les forêts de l'Edough, à l'O. de Bône; de l'Oued-Fendeck, du Djebel-Halia et du Filfilah, entre l'Oued-Radjetas et Philippeville; et au S.-E, de Bône, les forêts des Beni-Salah.

Dans le premier de ces groupes, qui a été plus spécialement soumis aux études du service forestier, on a reconnu la possibilité de fournir annuellement à l'industrie du fer, en dehors des besoins locaux, 50.000 stères de bois, et M. le ministre de la guerre avait, dès le 25 août 1846, arrêté en principe que 25.000 stères de chauffage seraient affectés à chacune des deux compagnies qui détenaient à cette époque la concession de la Méboudja, et les concessions réunies du Bou-Hammra des Kharézas et d'Aïn-Morkha. Les deux autres groupes de forêts offrant des richesses au moins équivalentes, sinon supérieures, l'administration pourra, dans un délai plus ou moins rapproché, disposer de 150.000 stères de chauffage pour l'affouage des usines qui viendront à se créer dans l'intérieur du pays.

Les bois qui constituent le peuplement des massifs forestiers précités étant en moyenne des essences dures, on peut admettre qu'un stère de bois produira un quintal métrique de charbon, et si nous estimons, pour tenir compte dans une large proportion des conditions exceptionnelles

que présente encore l'Algérie au point de vue des industries spéciales :

	fr.
La journée de maître charbonnier à. .	4,50
Celle de bûcheron à.	3,60
Et celle des manœuvres indigènes à. .	1,50

les frais de fabrication du quintal métrique de charbon seront comme suit, en supposant que l'on cuise par mois quatre meules de charbon de 60 stères l'une :

	fr.	
Bois sur pied (1 stère).	1,30	
Abatage et façonnage.	0,90	
Vidange et transport au dépôt.	0,30	
Cordage et relevage.	0,12	
Prix du stère de bois abattu.	2,62	2f,62
Transport à la faulde et dressage de la meule. .		0, 30
Façon de l'enveloppe.		0, 10
Carbonisation.		0, 93
Intérêt du capital engagé, frais d'ouverture de chemins, frais généraux.		0, 25
Prix du quintal métrique de charbon. . . .		4, 20

Pour transporter ces charbons aux usines on sera obligé, pendant de longues années, d'employer des bêtes de somme, et l'on devra payer ainsi 0f,08 par tonne et par kilomètre, en supposant qu'un mulet portant 150 kilogrammes et payé à raison de 3 francs par jour parcoure dans sa journée 25 kilomètres en charge, avec retour à vide; en portant à 28 kilomètres la distance moyenne des charbons aux usines, les frais de transport du quintal de charbon seront de 2f,24; ce qui porte à 6f.44 leur prix de revient dans les halles. En France, où les bois sur pied sont payés de 4f,50 à 5 francs le stère, le prix moyen des charbons employés dans la fabrication de la fonte est de 7f,44,

alors que l'on consomme pour 3f,73 de minerai (1).

En supposant que les usines fussent établies à portée des mines et des bois, ce chiffre ne serait point atteint, et l'on aurait ainsi les deux matières premières qui entrent pour la plus forte proportion dans les prix élémentaires de la fabrication de la fonte à des prix notablement inférieurs à ceux que payent les usines de la métropole. En accordant à chaque usine un affouage de 25.000 stères de chauffage, on permettrait aux concessionnaires de maintenir en activité deux hauts-fourneaux produisant chacun 3.000 kilogrammes de fonte par jour, et marchant 300 jours par an. Ces fourneaux produiraient ainsi 9.000 quintaux de fonte avec les seules ressources tirées des forêts domaniales; en portant la consommation en charbon à 130 pour 100 de fonte, ces 9.000 quintaux correspondraient à 11.700 quintaux de charbon; soit, en tenant compte du déchet des halles qui est de 6 à 7 pour 100, à 12.500 q. m. Les 150.000 stères de bois disponibles pourraient donc alimenter six usines et douze hauts-fourneaux.

L'une de ces usines est déjà établie aux environs de Bône, et doit tirer ses approvisionnements partie des forêts de la province, partie de la Corse et de la Toscane. Quant aux fonderies à créer, les conditions spéciales de leurs approvisionnements conduiraient à les établir :

Sur l'Oued-Rera, au Filfilah, sur les mines de fer oligiste et oxydulé réunies en ce point, et auprès des bois du Djebel-Halia.

---

(1) Tableaux statistiques de l'administration des mines pour 1847, page 63.

Tableau de l'exportation de l'argent en barres, du minerai d'argent, du cuivre en barres, du cuivre régulus, du minerai de cuivre et du minerai de cobalt, du port de Coquimbo et des ports adjacents, pendant l'année 1850, avec les quantités, la valeur et la destination de ces métaux.

EN ANGLETERRE.						Amérique du Nord et Chine.		En France et Hambourg.		Dans les ports chiliens.	
Argent en barres.	Minerai d'argent.	Cuivre en barres.	Cuivre Régulus.	Minerai de cuivre.	Minerai de cobalt.	Cuivre en barres.	Minerai de cuivre.	Cuivre en barres.	Minerai de cuivre.	Cuivre en barres.	Minerai de cuivre.
Marcs de 8 onces.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.
6.678	2.99	48.224	37.039	2.147	3.068	38.229	14.945	18.028	1.023	220	1.453

TOTAL DES QUANTITÉS ET LEUR VALEUR EN PIASTRES.	Prix de l'unité.	piastres.	R.
6.678 marcs d'argent en barres.	10	66.780	
229 qqx. de minerai d'argent.	9	2.061	
104.700 qqx. de cuivre en barres.	14	1.465.800	
37.039 qqx. de cuivre régulus.	5,6	212.974	2
19.588 qqx. de minerai de cuivre.	4,5	93.043	
3.068 qqx. de minerai de cobalt.	5	15.340	
		1.855.998	2

Tableau de l'exportation de l'argent en barres, du minerai d'argent, du cuivre régulus, du cuivre en barres et du minerai de cuivre du port de Huasco, pendant l'année 1850, avec les quantités, la valeur et la destination de ces métaux.

	EN ANGLETERRE.				Amérique du Nord.		A Hambourg.		Dans les ports chiliens.		
Barres d'argent.	Minerai d'argent.	Barres de cuivre.	Cuivre régulus.	Minerai de cuivre.	Barres de cuivre.	Minerai de cuivre.	Barres de cuivre.	Cuivre régulus.	Minerai d'argent.	Cuivre régulus.	Minerai de cuivre.
Marcs de 8 onces.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.	Quintaux de 100 livres.
7.985	5.27	8.428	59.290	8.922	2.179	5.704	1.515	4.565	922	2.111	19.216

TOTAL DES QUANTITÉS ET LEUR VALEUR EN PIASTRES.	Prix de l'unité.	piastres.	R
7.955 marcs d'argent en barres.	10	77.550	
1.449 qqx. de minerai d'argent.	10	14.490	
12.122 qqx. de cuivre en barrei.	14	169.708	
65.975 qqx. de cuivre régulus.	6	395.850	
33 842 qqx. de minerai de cuivre.	2,2	67.684	
		727.282	

la valeur créée par l'extraction du plomb et de l'argent. En nous basant pour les teneurs en plomb sur les moyennes des essais cités plus haut, et en réduisant la richesse en argent à 200, 150 et 100 grammes au quintal pour les minerais expédiés, la valeur du plomb contenu est estimée à 29 francs les 100 kilogrammes, en admettant un déchet de fabrication de 17 pour 100 et 8 francs de frais de traitement, et fixant le cours du plomb obtenu à 40 francs les 100 kilogrammes. Celle de l'argent pour lequel nous manquons de données précises n'est évaluée qu'à 180 francs le kilogramme, alors que le kilogramme d'argent fin vaut 222 francs.

	PRODUCTION			TENEUR		PRODUIT		VALEUR CRÉÉE		
	en 1849.	en 1850.	totale.	en plomb.	en argent.	en plomb.	en argent.	en plomb.	en argent.	totale.
	qx.	qx.	qx.	k.	gr^s.	qx.	kil.	fr.	fr.	fr.
Galène brillante. . .	1.995	1,373	3.368	55	150	1.852	505.2	53.708	90.936	144.644
Minerai gris.	2.744	2.720	5.464	49	200	2.677	1.093.8	77 633	196.884	274.517
Terres argentifères. .	1.670	1.793	3.465	33	100	1.143	346.5	33.147	62.370	95.517
Carbonate de cuivre.	210	215	425	»	»	»	»	»	»	»
Pyrite de fer.	»	528	528	»	»	»	»	»	»	»
Totaux.	6.619	6.631	13.250					164.488	350.190	514.978

Cette valeur paraît assez considérable pour assurer dans un très-prochain avenir de notables bénéfices, et l'amortissement presque immédiat des capitaux employés à l'aménagement de la mine et aux importantes constructions qui ont été élevées pour l'installation des ouvriers et du personnel de la direction des travaux.

Les minerais sont expédiés à Marseille, où ils

sont élaborés, et il n'y a jusqu'ici aucun atelier de préparation qui permette de les enrichir et de les amener à une teneur plus constante, en tirant à la fois un parti avantageux des minerais plombeux et des terres argentifères que leur faible valeur ne permet point d'expédier avec profit. Il est à regretter que les attaques dont la mine a été l'objet de la part des tribus frontières aient entravé une aussi utile création, en répandant des inquiétudes sur la sécurité qui pouvait être réservée dans l'avenir aux établissements d'Oum-Theboul.

La construction sur place d'une usine de traitement dans laquelle on produirait des plombs d'œuvre argentifères que l'on livrerait au commerce, emprunte aussi à cette situation de grandes difficultés, bien que les environs de la mine présentent des taillis susceptibles de fournir le combustible nécessaire, et que cette combinaison paraisse offrir des avantages au point de vue économique.

Les frais de transport sont en effet, dans la double hypothèse de la fusion sur place et du traitement à Marseille, de 2f,35 et de 5f,97 par quintal métrique de plomb, car on a à transporter dans le premier cas 100 kilogrammes de plomb qui reviennent à :

	fr.
Transport à la Calle.	1,25
Frêt de la Calle à Marseille. .	1,10
Total. . .	2,25

Dans le second, la teneur moyenne des minerais des diverses classes étant, d'après le tableau précédent, de 46 pour 100, il y aura à transporter, pour 1 quintal métrique de plomb avec

17 pour 100 de déchet de fusion, 254 kilogrammes de minerai, pour lesquels on payera :

	fr
Transport à la Calle.	3,18
Fret de la Calle à Marseille. .	2,79
Total.	5,97

Il y aura donc un bénéfice de 3f,62 par quintal métrique de plomb : et en supposant que l'extraction annuelle fût de 10.000 quintaux de minerai et produisît 4.000 quintaux de plomb, l'économie serait de plus de 14.000 francs pour ce seul objet ; elle augmenterait encore par les facilités que le traitement sur place offrirait pour la fusion des terres et des pyrites pauvres que l'on pourrait passer dans les lits de fusion, et par les réductions qui pourraient être apportées dans le personnel, en concentrant sur un seul point les élaborations diverses que doit subir le minerai pour être transformé en plomb d'œuvre, et dans les frais de fusion que l'on paye aux fonderies.

Antimoine sulfuré et cinabre de Djebel-Taya.

Les travaux entrepris en 1849 dans les deux permis d'exploration du Djebel-Taya ont été continués pendant les quatre premiers mois de l'année 1850. Depuis cette époque, bien que les permissionnaires aient obtenu la prorogation de leurs permis de recherches, ils n'ont pas été repris.

L'ensemble des travaux comprenait, au moment où ils ont été abandonnés, neuf galeries ou tranchées dans la plupart desquelles le minerai d'antimoine s'est présenté en rognons ayant quelquefois 0m,80 à 1 mètre de puissance, et com-

posés à la surface de grands cristaux pseudomorphiques d'antimoine oxydé blanc jaunâtre, à structure compacte ou terreuse, formant de belles aiguilles fibreuses et radiées. A mesure que les travaux se sont étendus dans l'intérieur de la montagne, ou qu'ils ont été ouverts à de plus bas niveaux, l'oxyde d'antimoine a été remplacé par du sulfure de plus en plus pur, et la plupart des attaques présentaient le sulfure en assez grande abondance pour ne laisser aucun doute sur la nature du minerai que fournirait l'exploitation souterraine, et sur l'origine des cristaux d'oxyde d'antimoine que l'on trouve aux affleurements que l'on doit attribuer à la décomposition de cristaux de sulfure sous l'influence des agents atmosphériques ou de quelque agent oxydant analogue.

Deux attaques, le n° 2 et le n° 8, ont été poussées plus avant que les autres et ont fourni de remarquables résultats. Dans l'attaque n° 2, ouverte sur les premiers indices de cinabre, que l'on a suivis à l'aide d'une descenderie de 46 mètres de développement, on a débouché dans une grotte tapissée de belles stalactites calcaires, à l'entrée de laquelle le minerai d'antimoine composé de grandes aiguilles d'oxyde offre une richesse en cinabre que l'on n'avait point encore obtenue.

Cette grotte, que nous avons relevée à la boussole, a une longueur de 120 mètres et une pente moyenne de 25° à 26°; ses autres dimensions sont variables et masquées par des colonnes, des aiguilles pendantes et des grappes de stalactites, ou par des dentelures de stalagmites qui charment l'œil par les brillants jeux de lumière qu'elles produisent en renvoyant les reflets de la lampe du mineur. Une fouille, continuée à l'extrémité

de la descenderie, a conduit à de très-belles aiguilles entrelacées d'oxyde d'antimoine pseudomorphique tapissées de mercure sulfuré, dont l'épaisseur atteint 2 et 3 millimètres, la zone métallifère ayant de 0m,50 à 0m,60 de largeur. Un certain nombre de ces fragments soumis à la distillation avec de la chaux nous a rendu 22 pour 100 de mercure, et il y aurait le plus grand intérêt à continuer les recherches dans cette direction pour reconnaître si la veine riche se poursuit de manière à permettre une exploitation suivie.

On rencontre, de plus, au fond de la grotte, des fragments d'oxyde d'antimoine irrégulièrement répandus sur le sol, et qui montrent que la partie métallifère, que les incrustations masquent dans toute l'étendue de la grotte, se poursuit encore dans cette direction.

Quant à l'attaque n° 8, qui consiste en une tranchée de 6 mètres prolongée par une galerie de 16 mètres de longueur, elle présente sur les deux côtés de la galerie une zone de sulfure d'antimoine de 0m,60 d'épaisseur, mélangée en quelques points de mercure sulfuré et de spath calcaire. Le peu de distance qui sépare cette galerie de la descenderie n° 2 nous porte à croire que dans cette région l'antimoine et le mercure se présentent d'une manière plus suivie et digne de provoquer de nouvelles recherches.

Les travaux exécutés dans les deux périmètres du Taya, dont l'exploration a été réunie par les permissionnaires, ont occupé en moyenne quinze à vingt ouvriers; ils ont produit 1.622 quintaux métriques de minerai, savoir :

	qx.	
	1.027	en 1849,
	595	en 1850.
Total. .	1.622	

Ces minerais d'antimoine, assez impurs dans quelques recherches, peuvent être, en moyenne, estimés à 15 francs les 100 kilogrammes, et représentent ainsi une valeur d'environ 24.000 francs, qui couvre sensiblement les frais d'exploration et de transport à Marseille, où les minerais ont été pour la plupart vendus ou élaborés.

Antimoine oxydé d'Aïn-Bebbouch.

L'exploration dite d'Aïn-Bebbouch a été commencée au mois de février 1850, et activement poursuivie depuis. On a commencé à ouvrir sur les affleurements plusieurs fosses, dans lesquelles on a extrait le minerai, pour ainsi dire, au hasard; mais ces travaux irréguliers, qui constituaient plutôt une exploitation illicite qu'une exploration convenablement dirigée, ont été ravagés par les eaux, et les éboulements ont obligé le permissionnaire à apporter plus d'ensemble dans l'exécution de ses recherches, et à remblayer les premières fouilles, afin de pouvoir retirer le minerai engagé dans les parties éboulées. Un puits et une galerie inclinée ont donc été commencés pour rejoindre le filon, et se continuaient lors de notre visite.

Dans les deux fosses primitives le filon a présenté une puissance de 0^{m},30 à 0^{m},40, mais il s'amincit en certains endroits jusqu'à 0^{m},15. Il est accompagné de deux veines placées au toit de la masse principale, qui offrent également des variations d'épaisseur. Le gîte affleure au milieu de marnes argileuses qui forment le plateau de

Sensa, au Nord d'Aïn-Bebbouch, et paraît couper à angle droit la stratification de ces couches sensiblement dirigées de l'Est à l'Ouest, et plongeant vers le Nord, tandis que les filons plongent de 32° à l'Ouest.

Ils traversent ces marnes sans avoir de salbandes ou d'épontes déterminées, et sont exclusivement formés d'oxyde d'antimoine radié, groupé en petites masses cristallines de couleur jaune serin ou blanc nacré, et d'une petite proportion de peroxyde de fer. On n'a pas encore rencontré le sulfure d'antimoine, et rien ne peut jusqu'à présent faire soupçonner sa présence contrairement à l'assertion de M. l'ingénieur en chef Fournel (1).

L'exploration ultérieure apprendra seule si ce minerai se continue bien régulièrement en direction et en profondeur, car on n'en trouve point de traces à la surface en suivant la direction probable des affleurements.

Un deuxième gisement d'oxyde d'antimoine a été découvert il y a quelques mois au Nord-Est de l'affleument de Sensa, sur l'Oued-Hamimim : il paraît très-développé et s'étend, au dire du permissionnaire, sur près de 2 kilomètres d'étendue. Il se compose d'oxyde d'antimoine blanc vitreux, en cristaux octaédriques disséminés dans une roche marneuse. Cet affleurement, qui ne présentait que des petits cristaux à la surface, paraît s'être notablement amélioré en profondeur, si l'on en juge par les minerais qui ont été dirigés sur Philippeville.

Les travaux de Sensa ont occupé, en moyenne, 20 à 25 ouvriers, dont 15 indigènes et 5 enfants,

---

(1) Richesse minérale de l'Algérie, tome I, p. 261.

employés au triage et au cassage du minerai. Le travail se fait à la pioche et au coin, sans employer la poudre, et permet ainsi de profiter de la main-d'œuvre indigène dans une assez forte proportion.

On a expédié de la mine à Constantine, depuis le mois de mars 1850, 1.541 quintaux métriques de minerai :

dont	1.099	quintaux provenant de Sensa,
et	342	quintaux provenant de l'Oued-Hamimim.
Total.	1.541	

Ces minerais ont été exportés en France et ont principalement servi à faire des essais pour la fabrication du blanc d'antimoine destiné à remplacer le blanc de plomb dans la peinture. Ces essais, qui ne paraissent cependant point avoir complétement réussi, ont assuré au minerai de Sensa un prix de vente avantageux, et il a été payé jusqu'ici 30 à 35 francs le quintal.

ÉTUDES

MINÉRALOGIQUES ET CHIMIQUES

SUR LES

minerais de fer du département de la Moselle,

Par M. le docteur LANGLOIS,
pharmacien principal à l'hôpital militaire de Metz,
Et M. JACQUOT, ingénieur des mines.

Les minerais de fer du département de la Moselle ont déjà été l'objet d'études partielles, soit minéralogiques, soit chimiques. M. Berthier a soumis à l'analyse plusieurs variétés de minerais provenant de l'arrondissement de Briey; les résultats qu'il a obtenus sont consignées dans le tome II du Traité des essais par la voie sèche, à l'article : minéraux oxygénés du fer. D'un autre côté, M. Victor Simon a donné sur la position géologique de quelques-unes des formations ferrifères du département, différents mémoires qui se trouvent dans les publications de l'Académie de Metz. Plus récemment, M. Levallois, ingénieur en chef des mines, a fait insérer dans le tome XVI de la 4ᵉ série des Annales des mines une notice sur la minière de fer de Florange et sur ses relations avec le grès suprà-liasique. Enfin chacun de nous s'est aussi occupé, à un point de vue différent, de l'objet de la présente étude. L'un a déterminé la composition des minerais qui sont fondus dans l'usine de Saint-Benoît, à Ars-sur-

Moselle; l'autre a donné une description géologique détaillée des mines et des minières de fer de la partie occidentale du département (1). Par suite de la communication du résultat de nos études, nous avons été conduits à penser qu'un travail d'ensemble comprenant l'analyse de tous les minerais de fer reconnus ou exploités dans le département offrirait de l'intérêt, tant à raison de l'importance des usines qu'il renferme, qu'à cause de la variété des minerais qui s'y rencontrent. Ce travail offre donc une espèce de statistique chimique des minerais de fer de la Moselle dans laquelle sont comprises comme appendices, les analyses de quelques produits accessoires des usines et celle d'un minerai de manganèse qui se trouve associé à un des gîtes ferrifères du département. Afin que l'on puisse connaître exactement la provenance des minerais qui ont été examinés et établir une comparaison avec ceux qui se trouvent dans d'autres contrées, nous avons jugé à propos de décrire sommairement le gisement de chacun d'eux. Nous commençons par indiquer, en quelques mots, le procédé général d'analyse qui a été suivi; après quoi, nous donnerons les résultats de notre travail dans autant d'articles séparés qu'il y a de formation ferrifères distinctes.

Analyse. Les procédés que nous avons suivis sont ceux généralement admis dans de pareilles recherches.

Tous les minerais que nous avons eu à exami-

(1) Le premier travail est inséré dans les mémoires de l'Académie de Metz; le second dans les Annales des mines, tome déjà cité.

ner ont toujours été facilement attaqués par l'acide chlorhydrique concentré. Nous ne les soumettions à l'action de l'acide qu'après les avoir réduits en poudre très-fine. Nous avons presque constamment dosé l'eau et l'acide carbonique par la perte que le minéral éprouvait, lorqu'il était porté au rouge-blanc dans un creuset de platine couvert. A cette haute température le sesquioxyde de fer est ordinairement ramené à l'état d'oxyde magnétique. Outre la perte de l'eau et de l'acide carbonique, il y a donc encore pendant la calcination une perte d'oxygène dont il faut nécessairement tenir compte dans l'appréciation des résultats de l'analyse.

Dans quelques échantillons, nous avons dû doser isolément l'acide carbonique, en recueillant ce gaz dans une dissolution de baryte soustraite à l'influence de l'air.

La détermination des quantités de silice, d'alumine, d'oxyde de fer, de chaux et de magnésie avait lieu successivement dans la même opération, en agissant le plus souvent sur deux grammes de substance. Ces deux grammes étaient introduits dans un petit ballon de verre et attaqués par l'acide chlorhydrique. On ne se servait d'acide chloronitrique que lorsque le minerai renfermait du protoxyde de fer. L'action de l'acide était toujours secondée par une douce chaleur. Dès que la dissolution était terminée, on versait la liqueur dans une capsule de porcelaine et on la faisait évaporer jusqu'à siccité, en ayant soin d'éviter les projections et de modérer la température vers la fin de l'évaporation. Le résidu contenu dans la capsule étant refroidi, nous l'arrosions avec quelques gouttes d'acide chlorhydrique pour redissoudre la petite

quantité d'oxyde de fer qu'une chaleur trop élevée avait pu mettre en liberté. Après quelques instants de contact, on traitait le résidu par l'eau distillée et la dissolution était filtrée. La silice gélatineuse et le sable restaient sur le filtre. On le faisait dessécher, on en prenait le poids, puis on séparait la silice gélatineuse du sable à l'aide d'une dissolution bouillante de potasse caustique. Il nous était toujours facile, en opérant ainsi, d'apprécier exactement la quantité de silice combiné et celle qui, sous forme de sable, ne se trouvait que mélangée au minéral.

Dans la dissolution ferrique débarrassée, par la filtration, de la silice et du sable, nous versions un excès d'ammoniaque pour précipiter le fer et l'alumine. La chaux et la magnésie restant dans la liqueur étaient, à leur tour, précipitées, la première par l'acide oxalique et la seconde par le phosphate de soude ammoniacal. La dissolution contenait toujours assez de chlorure d'ammonium pour empêcher la magnésie de disparaître en même temps que l'oxyde de fer et l'alumine. On a dosé la chaux en transformant en sulfate le produit de la calcination de l'oxalate. Le poids de la magnésie a été pris sur celui du phosphate bibasique obtenu par la décomposition à la température rouge du phosphate ammoniaco-magnésien.

Le précipité d'oxyde de fer et d'alumine fut traité à chaud par une dissolution d'hydrate de potasse. On a sursaturé avec de l'acide chlorhydrique la dissolution potassique et on y a ajouté ensuite un excès d'ammonique pour isoler l'alumine qui a été reçue sur un filtre, lavée et calcinée. L'oxyde de fer fut aussi recueilli sur un filtre, puis lavé, séché et chauffé jusqu'au rouge

dans un creuset de platine placé au-dessus de la flamme d'une lampe à alcool à double courant.

La calcination du sesquioxyde de fer doit être faite avec certaines précautions pour ne pas perdre d'oxygène. Si la température est trop forte, une partie de ce sesquioxyde peut être ramenée, comme on le sait, à l'état d'oxyde magnétique. Des débris de filtre enlèvent souvent de l'oxygène. Nous avons donc eu soin de nous mettre en garde contre ces diverses causes d'erreur.

Dans l'analyse de plusieurs minerais, nous avons employé pour le dosage du fer la liqueur titrée de permanganate de potasse. Nous prenions, comme le conseille M. Margueritte, un gramme de minerai que nous introduisions dans un ballon d'un litre environ et nous le faisions dissoudre au moyen d'une douce chaleur dans 25 centimètres cubes d'acide chlorhydrique. La dissolution étant opérée, on remplissait le tiers du ballon d'eau distillée récemment bouillie et l'on ramenait par une solution de 4 grammes de sulfite de soude le sesquioxyde de fer à l'état de protoxyde. On portait ensuite la liqueur à l'ébullition pendant dix minutes pour chasser l'excès d'acide sulfureux. Il ne restait plus alors pour terminer l'expérience qu'à remplir presque entièrement le ballon d'eau distillée, et à verser avec une burette graduée la solution de permanganate de potasse jusqu'au moment où la liqueur ferrique prenait une teinte rosée, signe auquel on reconnaît que tout le protoxyde est transformé en sesquioxyde. Cette manière de doser le fer a toujours été très-rapide et très-exacte, toutes les fois que nous nous sommes servis du sulfite de soude comme moyen de réduction. Il ne nous a pas paru en être de même

quand nous prenions, au lieu de sulfite, des lames de zinc. La réduction dans ce dernier cas est longue, difficile et souvent incomplète.

L'emploi du permanganate de potasse est surtout précieux pour l'appréciation exacte des quantités de protoxyde contenues dans un minéral en même temps que le peroxyde. Cette méthode est prompte et facile, tandis que les autres procédés exigent beaucoup de temps et une certaine habileté pratique.

Manganèse. Pour la détermination de ce métal, nous avons soumis le minerai à une opération spéciale. Comme il n'existait qu'en très-petite quantité, nous prenions au moins 5 grammes de minerai que nous faisions dissoudre dans de l'acide chlorhydrique. La dissolution était étendue de 3 à 400 grammes d'eau distillée froide et ensuite filtrée. Dans la liqueur filtrée, on versait de la dissolution de carbonate d'ammoniaque jusqu'au moment où le mélange prenait une teinte brune ou qu'un léger précipité commençait à se montrer. En faisant alors bouillir, la majeure partie de l'oxyde de fer se sépare. La petite portion qui reste dans la dissolution est aisément enlevée au moyen du succinate d'ammoniaque. On filtre et on isole le manganèse de la liqueur incolore par le sulfhydrate d'ammoniaque. On a dissous le sulfure de manganèse dans de l'acide chlorhydrique et dans cette dissolution on a ajouté du carbonate de soude. Le carbonate de manganèse produit a été recueilli sur un filtre, lavé, séché et calciné. On a obtenu pour cette calcination de l'oxyde mangano-manganique d'où l'on a tiré le poids du métal.

Acide phosphorique. Quand nous avons eu à rechercher le phosphore, nous avons toujours opéré sur 5 grammes de minerai bien pulvérisés auxquels nous ajoutions 20 grammes de carbonate de potasse pur. Le mélange était porté au rouge-blanc pendant une heure dans un creuset de platine couvert. Après le refroidissement du creuset, la matière qu'il contenait était dissoute dans l'eau distillée. On filtrait la dissolution et on la saturait par l'acide nitrique pur; on la faisait ensuite évaporer jusqu'à siccité pour séparer la silice. Le résidu était repris par l'eau et la solution filtrée. Cette solution sursaturée par l'ammoniaque fournissait des traces d'alumine. Dans la liqueur filtrée de nouveau et rendue légèrement acide par l'acide nitrique, nous versions de l'acétate neutre de plomb qui donnait lieu à un précipité blanc jaunâtre de phosphate de plomb. Nous nous assurions encore, comme contrôle, de l'existence de l'acide phosphorique au moyen du sulfate de magnésie additionné de chlorure d'ammonium. Quand cet acide existait, nous obtenions constamment un précipité caractéristique de phosphate ammoniaco-magnésien.

Ce procédé, pour déceler de petites quantités d'acide phosphorique contenues dans les minerais de fer, nous a paru préférable à celui mis généralement en usage et qui consiste à traiter le minerai par le sulfhydrate d'ammoniaque, après l'avoir dissous dans l'acide chlorhydrique. Quelques minerais essayés par cette dernière méthode n'ont pas fourni d'acide phosphorique, tandis qu'ils en ont donné plus tard lorqu'ils furent exposés à une haute température en présence du carbonate de potasse.

Arsenic et cuivre. Toutes les fois que nous avons pensé que nous pourrions, dans nos recherches, rencontrer le cuivre ou l'arsenic, nous avons fait dissoudre 10 grammes de minerai dans de l'acide chlorhydrique. Nous ramenions par le sulfite de soude le sesquioxyde de fer à l'état de protoxyde et, l'acide sulfureux étant complétement chassé, nous faisions passer dans la dissolution acide un courant de gaz sulfhydrique. Ce gaz n'a jamais donné lieu à aucun précipité.

Lorsque nos expériences avaient pour unique but la recherche de l'arsenic, nous nous servions souvent de l'appareil de Marsh dans lequel nous introduisions la dissolution du minerai de fer préalablement soumise à l'action désoxydante de l'acide sulfureux. Dans aucun cas, nous n'avons obtenu de taches sur les fragments de porcelaine, ni la moindre trace métallique dans le tube à réduction.

Soufre. Pour découvrir ce corps dans un minerai, nous attaquions celui-ci par l'eau régale. Dans la dissolution filtrée, nous versions du nitrate de baryte. Tantôt il se formait un précipité de sulfate de baryte, tantôt il ne s'en formait pas, suivant que le minerai était sulfureux ou ne l'était pas. Par le poids du sulfate, nous avions celui du soufre.

Minerai en filons et en plaquettes stratifiées dans le grès des Vosges. Le minerai de fer que l'on rencontre dans le grès des Vosges est une hématite brune contenant, en grande abondance, les grains amorphes et translucides de quartz qui constituent la masse de cette formation. Il se présente ordinairement sous la forme d'un grès très-

fortement agrégé et très-réfractaire qui ne rend guère en moyenne que 25 p. 100 de fonte. Quand ce minerai n'est point mélangé de sable, ce qui arrive rarement, il offre des masses fibreuses et *testacées* à surfaces polies, comme si elles avaient *été* passées au brunissoir. Il renferme toujours du manganèse, et l'on voit fréquemment l'oxyde de ce métal former de petites taches noires dans la pâte. Il affecte deux gisements distincts; on le trouve en filons et en plaquettes intercalées dans les assises inférieures de la formation. Les filons sont composés de petites veinules d'hydroxyde qui s'entrelacent en tous sens et forment une espèce de réseau au milieu duquel on retrouve le sable de la roche encaissante. Il sont peu puissants; ceux qui ont été reconnus jusqu'ici avaient en moyenne de 20 à 40 centimètres et on n'en a pas encore rencontré qui aient plus d'un mètre d'épaisseur. Quelques-uns ont été suivis sur une grande longueur; mais ils ne paraissent pas se prolonger à une profondeur considérable au-dessous du sol. On trouve accidentellement dans ces filons de la baryte sulfatée en cristaux et en masses cristallines, plus rarement de la galène, de la blende et de la pyrite cuivreuse. Le seul point où ils soient aujourd'hui exploités est la plaine qui s'étend entre Saint-Avold et Creutzwald; mais on a signalé leur existence dans plusieurs autres localités et notamment près du hameau de Vieille-Verrerie, au nord de Forbach et dans la partie du département limitrophe de l'arrondissement de Vissembourg où ils ont donné lieu à des travaux considérables. On compte trois filons principaux dans la plaine de Creutzwald; deux traversent la forêt de Saint-Avold en suivant une direction très-sensiblement parallèle

à l'axe de soulèvement des Vosges et se prolongent, suivant toute apparence, en Prusse; le troisième a été suivi depuis Falck jusqu'à Creutzwald, sa direction n'est pas éloignée de la ligne Est-Ouest.

Le minerai de Crutzwald est grillé avant d'être fondu. Cette opération, qui s'exécute à une basse température et n'enlève pas toute l'eau d'hydratation, a pour objet de débarrasser le minerai d'une partie du sable qui adhère à sa surface après l'exploitation.

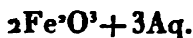
Quant aux plaquettes qui se rencontrent avec abondance en stratification dans les assises inférieures du grès vosgien, elles sont rarement assez riches pour pouvoir être fondues; et elles ne sont point exploitées dans le département de la Moselle.

Nous avons analysé un échantillon de minerai grillé provenant de la forêt de Saint-Avold qui nous a paru représenter la richesse moyenne de ceux que l'on fond et nous l'avons trouvé composé de :

	gr.
Protoxyde de fer.	0,360
Oxyde de manganèse.	0,005
Eau	0,060
Alumine.	0,007
Sable et très-peu de silice. . .	0,540
	0,972

Ce minerai est pauvre, il ne rend en moyenne que 25 p. 100 de fonte; il est de plus très-siliceux et a besoin, pour être fondu, d'être allié à des minerais calcaires et alumineux. La poussière du minerai grillé est d'un rouge brunâtre très-foncé. La quantité d'eau trouvée correspond presque

exactement à *celle* habituellement contenue dans l'hématite *brune* dont la formule est



$$2Fe^2O^3 + 3Aq.$$

Dans le fourneau de Creutzwald où ce minerai *est* fondu, on trouve, après chaque campagne, une cadmie formant un bourrelet adhérent à une petite distance de l'orifice du gueulard; elle est très-pesante, de couleur verte, et présente des couches concentriques très-minces appliquées les unes sur les autres; sa surface du côté de l'intérieur du fourneau est mamelonnée et renferme souvent de petites druses tapissées de cristaux prismatiques très-brillants d'oxyde de zinc.

Après avoir reconnu que cette cadmie était composée d'oxyde de zinc, d'oxyde de plomb et d'un peu de protoxyde de fer, de chaux, de magnésie, de silice et de charbon, nous l'avons soumise à l'analyse par le procédé suivant : 2 grammes porphyrisés ont été attaqués par l'acide nitrique concentré et bouillant et ont produit un dégagement assez abondant de vapeurs nitreuses dues à l'action du charbon divisé sur l'acide nitrique. La dissolution a été évaporée lentement jusqu'à siccité pour rendre la silice gélatineuse insoluble, puis filtrée et soumise, après avoir été rendue acide, à un courant d'hydrogène sulfuré qui a précipité tout le plomb. Le précipité de sulfure de plomb recueilli sur un filtre et lavé a été dissous par l'acide nitrique, évaporé et repris par un peu d'acide sulfurique; on l'a dosé à l'état de sulfate de plomb. Quant à la dissolution. on l'a traitée après l'avoir fait bouillir avec quelques gouttes d'acide nitrique pour suroxyder le fer, par l'ammoniaque en excès qui n'a précipité que ce dernier. Pour séparer le zinc de la

chaux et de la magnésie qui restaient dans la liqueur, on y a ajouté du sulfhydrate d'ammoniaque; le précipité de sulfure de zinc a été recueilli sur un filtre, puis redissous dans de l'acide chlorhydrique; on a séparé l'excès de soufre et traité la dissolution par le carbonate de soude, en ayant soin de faire bouillir pour rendre le précipité grenu. Celui-ci recueilli sur un filtre a été calciné à une température élevée, et le zinc dosé à l'état d'oxyde. La chaux et la magnésie qui restaient dans la dissolution filtrée ont été recueillies par le procédé décrit au commencement de cette notice, le sulfhydrate d'ammoniaque en excès ayant été au préalable détruit par l'acide chlorhydrique et le soufre séparé de la liqueur. Pour doser le charbon divisé que cette cadmie renfermait, nous en avons attaqué deux grammes par l'acide chlorhydrique, et rapproché la dissolution. La matière non attaquée recueillie sur le filtre contenant le sable, la silice et le charbon, nous l'avons fait sécher et pesée; puis, l'ayant grillée dans un creuset, nous avons déduit par différence le poids du charbon. Comme le plomb s'y trouve en petite quantité, nous avons pu nous servir de la liqueur filtrée pour précipiter le plomb par le sulfate de potasse et contrôler ainsi les résultats que nous avions obtenus; nous avons continué le reste de l'analyse par le procédé déjà décrit. Nous nous sommes assurés que le zinc et le plomb étaient entièrement à l'état d'oxydes, en attaquant deux grammes de la substance par l'acide nitrique et faisant évaporer. Le résidu calciné n'a pas sensiblement changé de poids.

Nous avons aussi reconnu, par la dissolution

de permanganate, que tout le fer est, dans la cadmie, à l'état de protoxyde.

L'analyse nous a donné les résultats suivants :

	gr.
Oxyde de zinc	0,885
Oxyde de plomb	0,012
Protoxyde de fer	0,047
Chaux	0,011
Magnésie	traces.
Silice et sable	0,027
Charbon	0,007
	0,989

Dans ce produit d'art, le protoxyde de fer est combiné avec l'oxyde de zinc, comme M. Berthier l'a montré. Il provient probablement de quelques particules de minerai réduit entraînées par le vent des *tuyères*. Quant à la chaux, à la magnésie et à la *silice*, elles paraissent former une espèce de laitier dont les éléments sont empruntés au lit de fusion.

Minerai en rognons stratifiés dans les marnes irisées. On a exploité de 1815 à 1824 dans les bois qui s'étendent sur le territoire des communes d'Alzing, Brettnach, Velving et Valmunster, au Sud-Est de Bouzonville, un minerai en rognons aplatis formant des lits au milieu des marnes irisées. Ces lits se rencontrent sur une assez grande hauteur, immédiatement au-dessous du grès qui partage en deux étages à peu près égaux la formation du keuper. Les rognons sont de couleur gris bleuâtre, rarement plus épais que la largeur de la main; le fer y était primitivement à l'état de carbonate de protoxyde associé tantôt à de l'argile, tantôt à un calcaire dolomitique. Exposés au

contact de l'air, il s'altèrent promptement et se transforment en hydrate de peroxyde d'un brun un peu jaunâtre. Ce minerai est assez pauvre, mais c'est un fondant énergique à cause de la magnésie qu'il renferme, et il produit une fonte très-douce. On l'a employé avec succès dans le fourneau de Creutzwald, où il a servi à remplacer les minerais carbonatés lithoïdes des houillères que l'on tirait de la partie de la Lorraine allemande cédée à la Prusse en 1815. Les rognons ferrugineux exploités dans les marnes irisées inférieures des environs de Bouzonville ne paraissent pas être un accident dans cette formation; nous les avons retrouvés dans une position identique, aux environs de Sienk et entre Hombourg sur Lanner et Piblange.

Nous avons analysé deux variétés de minerai des marnes irisées recueillies à la surface du sol; la première provient d'un bois situé sur le territoire de Valmunster, elle ne renferme que de l'oxyde hyraté mélangé d'argile; la seconde contient beaucoup de calcaire dolomitique, elle a été prise dans le quart en réserve des bois de la commune de Velving.

	Valmunster. N° 1.	Velving. N° 2.
	gr.	gr.
Peroxyde de fer.	0,435	0,197
Protoxyde de fer.	»	0,013
Eau et acide carbonique.	0,150	0,380
Silice.	0,070	0,035
Alumine.	0,040	traces.
Chaux.	traces.	0,230
Magnésie.	traces.	0,035
Argile et sable.	0,285	0,102
	0,980	0,992

N° 1. Minerai du bois de Valmunster, de cou-

leur brune, à poussière d'un jaune brunâtre; il est entièrement décomposé et représente mieux que le suivant la richesse de ces minerais qui renferment à *peu* près 25 p. 100 de fer.

*N° 2. Mi*nerai du quart en réserve de Velving, gris *bleu*âtre taché de jaune et de rouge; la poussière est de couleur orangée.

Minerai en rognons stratifiés dans les marnes du lias. Comme le minerai des marnes irisées, celui que l'on rencontre dans le lias se présente en rognons disposés par lits dans les marnes supérieures de cette formation. C'est un carbonate de protoxyde de fer associé à de l'argile; sa couleur est le blanc grisâtre, comme celle des marnes au milieu desquelles il se trouve. Il offre habituellement, comme le premier, des parties décomposées et transformées en hydrate de peroxyde formant autour d'un noyau des couches concentriques diversement nuancées de rouge et de jaune et s'enlevant par écailles. Les rognons des marnes suprà-liasiques se distinguent de ceux des marnes irisées par leur volume généralement plus considérable que celui de ces dernières, et qui atteint même quelquefois plusieurs pieds cubes. Leur forme est aussi moins applatie et se rapproche davantage de celle d'un œuf, ce qui leur a fait donner le nom d'ovoïdes. Quelques-uns de ces ovoïdes sont exclusivement composés d'un calcaire compacte à grains très-fins; mais la plupart sont ferrugineux. Les uns comme les autres, mais les premiers plus fréquemment que les seconds, présentent à leur surface des fossiles; ils sont aussi habituellement pénétrés de petites veinules de calcaire spathique qui ont rempli les vides produits

par le retrait. Ils renferment accidentellement du bois fossile, de la pyrite de fer, de la baryte et de la strontiane sulfatées et de la blende. Dans quelques localités, les marnes supérieures du lias contiennent assez d'ovoïdes ferrugineux pour pouvoir être exploitées avec succès; souvent aussi ceux-ci ont été amenés en grande quantité, par un lavage naturel, aux pieds des escarpements qui les forment. On a exploité, il y a une trentaine d'années, pour le fourneau de Creutzwald, du minerai de cette espèce qui se trouvait en place dans les champs qui dominent le village de Saint-Julien-lès-Metz. Un échantillon de couleur jaune clair recueilli à la surface de ces champs et entièrement décomposé a été soumis à l'analyse et a donné les résultats suivants :

	gr.
Peroxyde de fer.	0,505
Eau.	0,160
Silice.	0,050
Alumine.	0,040
Argile et sable.	0,225
Acide phosphorique.	0,0055
Soufre.	traces.
	0,9855

On voit que ce minerai est passablement riche; mais sa qualité est médiocre, puisqu'il renferme de l'acide phosphorique et du soufre. C'est sans doute la présence de ces deux éléments qui en a fait abandonner l'exploitation.

Minerai en couches dans l'étage oolithique inférieur. On rencontre dans le département de la Moselle, à un niveau géologique un peu plus

élevé que celui des ovoïdes du lias, un hydroxyde oolithique qui a été rangé dans cette formation par quelques géologues, tandis que suivant d'autres il appartient à l'étage oolithique inférieur. Le gisement de ce minerai ayant été décrit avec détails dans le tome XVI des Annales des mines, 4ᵉ série, nous nous contenterons d'en rappeler les principales circonstances. L'hydroxyde oolithique forme tantôt une seule, tantôt plusieurs couches dont la puissance totale avec les intercalations marneuses varie entre 2 et 35 mètres. Il repose directement sur le grès supraliasique et est nettement terminé, à sa partie supérieure, par des marnes grises micacées qui présentent un horizon d'une constance remarquable. Il est aujourd'hui reconnu sur tout le pourtour de la falaise qui termine, dans le département de la Moselle, l'étage jurassique inférieur. On l'exploite, par travaux souterrains, dans les mines d'Ars, de Moyeuvre, de Rosselange, d'Hagange, de Romain et du Coulmy, et par tranchées à ciel ouvert dans beaucoup d'autres localités dont les principales sont : Ottange, Russange, Saint-Jacques, Saulnes et Longwy-Bas. L'hydroxyde oolitique et les couches qui lui sont subordonnées sont traversés par de petites veinules d'hématite ; elles renferment une grande quantité de fossiles et de débris de sauriens ; on y a aussi trouvé, mais assez rarement, de la pyrite en rognons cristallisés à la surface. Ce minerai alimente exclusivement les hauts-fourneaux au coke des arrondissements de Briey et de Thionville, et il sert de fondant, dans les usines au bois, aux minerais siliceux que cette contrée renferme. Le gîte d'hydroxyde a quatre variétés de minerai qui diffèrent aussi bien par leur composition que par

leurs propriétés physiques, et que l'on peut diviser ainsi qu'il suit :

1° *Minerai brun*. La variété la plus commune est une agrégation de petits grains bruns très-brillants à la surface et ayant communément la grosseur d'une tête d'épingle. Le ciment qui les agglutine est coloré en brun ou en rouge par de l'oxyde de fer et composé d'un mélange de calcaire et d'argile dont la proportion est susceptible d'éprouver de grandes variations dans une même localité. La poussière de ces sortes de minerais a une couleur brune passant quelquefois au jaune, quelquefois au rouge; mais cette circonstance ne correspond point à une différence dans leur composition générale qui est celle des hydrates naturels renfermant à peu près 15 p. 100 d'eau; elle paraît plutôt tenir à une petite quantité de peroxyde anhydre disséminé dans le ciment.

2° *Minerai bleu*. Il est d'un bleu grisâtre à très-petites oolithes, très-fortement magnétique, mais non magnéti-polaire. Bien que sa couleur soit uniforme, il renferme un mélange d'hydrate de peroxyde et d'un silicate particulier de protoxyde de fer. On ne l'a trouvé jusqu'ici que dans la mine d'Hayange; il forme des masses irrégulières au milieu du minerai brun.

3° *Minerai vert*. Il provient comme le précédent de la mine d'Hayange et se présente dans les mêmes conditions de gisement. Il est d'un vert olivâtre, taché de jaune, aussi oolithique, mais non magnétique. Il contient du peroxyde hydraté et un silicate de protoxyde de fer moins basique que que le précédent.

4° *Minerai bigarré*. Cette variété contient des mélanges des trois précédentes en toutes proportions et présente généralement une grande bigarrure de couleur. Elle est beaucoup moins rare que les deux dernières, et comme elles, particulière à la partie inférieure du gîte d'hydroxyde. Quand le minerai bleu s'y trouve en proportion notable, elle est magnétique. On trouve, dans les mines de Hayange et de Moyeuvre, un minerai de couleur gris d'acier, dans lequel on distingue à la loupe des oolithes brunes empâtées dans un ciment bleu : ce minerai est assez fortement magnétique.

Tous ces minerais renferment de l'acide phosphorique en proportion assez notable; la variété bleue paraît en contenir plus que la brune. La coloration en bleue très-intense des scories des fourneaux dans lesquels ils sont fondus indique aussi qu'ils renferment du fer titané. Nous n'y avons trouvé ni soufre ni arsenic, bien que la pyrite de fer s'y rencontre accidentellement en quelques points, comme nous l'avons dit. Leur richesse moyenne est de 38 pour 100; mais on admet qu'ils ne rendent guère dans un traitement en grand que 33 pour 100 de fonte.

Nous avons fait une ou plusieurs analyses de chacune des variétés de minerai précédemment décrites; nous en présentons ici le tableau, en nous conformant à l'ordre que nous avons suivi.

1° *Minerai brun.*

	Coulmy. n° 1.	Ottange. n° 2.	Saint-Jacques. n° 3.	Moyeuvre. n° 4.	Ars-sus-Moselle. n° 5.	Ars-sur-Moselle. n° 6.	Ars-sur-Moselle. n° 7.	Russange. n° 8.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Peroxyde de fer.	0,630	0,385	0,720	0,665	0,530	0,530	0,506	0,425
Eau	0,135	0,095	0,145	0,136	0,140	0,140	0,130	0,085
Sable et silice gélatineuse.	0,185	0,475	0,075	0,090	0,200	0,150	0,040	0,110
Alumine.	0,050	0,045	0,047	0,055	0,080	0,050	0,030	0,030
Carbonate de chaux. . .	traces	tr.	tr.	0,030	0,030	0,110	0,280	0,270
Carbonate de magnésie.	»	»	tr.	0,022	0,010	0,010	0,010	0,055
Acide phosphorique. . .	0,0055	non dosé.	non dosé.	non dosé.	0,004	0,004	0,004	non dosé.
	1,0055	1,000	0,987	0,998	0,994	0,994	1,000	0,975

N° 1. Minerai de la mine du Coulmy, près Longwy, composé de petites oolithes simplement juxtaposées, tombant en poudre lorsqu'on l'expose à l'air; sa poussière est d'un jaune brunâtre.

N° 2. Minerai provenant de la tranchée qui se trouve près du nouveau fourneau d'Ottange. Il appartient au banc de 4^{m},50 qui forme la partie supérieure du gîte d'hydroxyde oolithique, très-développé dans cette localité. Il est de couleur rouge brunâtre; sa poussière est jaune-orangé.

N° 3. Minerai exploité près de l'ancien ermitage Saint-Jacques. Il est en petites couches peu agrégées alternant avec des lits calcaires qui renferment eux-mêmes de petites oolithes ferrugineuses; il contient des débris très-minces de coquilles brisées; sa couleur est brune, et celle de sa poussière est jaune foncé.

N° 4. Minerai le plus commun de la mine de Moyeuvre, à très-petites oolithes, de couleur jaune grisâtre; poussière jaune claire.

N°s 5, 6 et 7. Divers minerais bruns et rouges de la mine de la Charbonnière, à Ars-sur-Moselle; ils proviennent d'une même couche, qui a 2 mètres de puissance.

N° 8. Minerai exploité à ciel ouvert au sommet de la côte de Russange, d'un brun rougeâtre taché de jaune; la couleur de la poussière est rouge de brique. On y distingue beaucoup de lamelles calcaires provenant de coquilles brisées.

2° *Minerai bleu de la galerie dite des fours dans la mine d'Hayange.*

	gr.
Peroxyde de fer.	0,411
Protoxyde de fer.	0,320
Eau.	0,105
Silice.	0,085
Alumine.	0,022
Carbonate de chaux.	0,022
Carbonate de magnésie. . . .	0,018
Sable.	0,010
Acide phosphorique.	0,007
	1,000

M. Berthier a aussi analysé le minerai bleu d'Hayange (voir le Traité des essais par la voie sèche, t. II, p. 230, 232, 233); son analyse diffère principalement de la nôtre, en ce qu'il y a trouvé une proportion assez notable de carbonate de fer. Nous n'avons jamais rencontré cet élément dans le minerai oolithique, et nous nous sommes particulièrement assurés qu'il n'existait pas dans l'échantillon soumis à l'analyse. Pour cela, nous

avons très-exactement dosé le protoxyde de fer par le procédé de M. Margueritte, et nous avons recherché l'acide carbonique en attaquant deux grammes de minerai par l'acide chlorhydrique et recueillant les gaz dégagés dans de l'eau de baryte. Nous avons reconnu par ce moyen que la quantité d'acide carbonique du carbonate de baryte précipité correspondait très-sensiblement à celle nécessaire pour saturer la chaux et la magnésie.

M. Berthier pense que le composé auquel le minerai d'Hayange doit sa propriété magnétique est un alumino-silicate de protoxyde de fer représenté par les chiffres suivants :

Protoxyde de fer.	0,747
Alumine.	0,078
Silice.	0,124
Eau.	0,051
	1,000

En portant sur les $0^{g},411$ de peroxyde de fer que nous avons obtenus la quantité d'eau nécessaire pour en faire un hydrate, c'est-à-dire $0^{g},07$, et en réunissant les éléments combinés à la silice, nous sommes conduits aux résultats suivants qui ne diffèrent de ceux obtenus par M. Berthier, qu'en ce que nous avons un peu plus de silice et un peu moins d'alumine.

Protoxyde de fer.	0,692	Oxygène	0,157	6
Alumine.	0,048		0,022	
Silice.	0,184		0,095	3
Eau.	0,076		0,067	2
	1,000			

Au lieu de considérer le composé magnétique comme un alumino-silicate de protoxyde de fer,

nous pensons que l'alumine dissoute provient d'une argile attaquable par les acides, comme cela se présente uniformément dans les minerais bruns qui ne contiennent pas de protoxyde, et que le minerai bleu doit sa propriété magnétique à un silicate basique représenté par la formule suivante que l'on déduit de notre analyse :



$$3(FeO)^2SiO^3 + 2Aq.$$

3° *Minerai vert olivâtre de la galerie dite des fours dans la mine d'Hayange.*

	fr.
Peroxyde de fer.	0,210
Protoxyde de fer.	0,220
Eau.	0,170
Silice.	0,095
Alumine.	0,035
Carbonate de chaux.	0,190
Carbonate de magnésie. . . .	0,027
Sable.	0,035
	0,982

En opérant comme précédemment, on trouve que les éléments combinés à la silice sont représentés par les chiffres suivants :

Protoxyde de fer. .	0,456	Oxygène	0,103
Alumine.	0,073		0,033
Silice.	0,200		0,103
Eau.	0,271		0,240
	1,000		

En plaçant ces chiffres en regard de ceux relatifs au minerai bleu, on voit que le silicate de protoxyde de fer contenu dans le minerai vert renferme plus de silice et plus d'eau que le précédent, circonstances auxquelles il doit de n'être point magnétique.

4° *Minerais bigarrés.*

	Moyeuvre. n° 1.	Valerz. n° 2.	Châtel-Saint-Germain. n° 3.
	gr.	gr.	gr.
Peroxyde de fer.	0,540	0,630	0,330
Protoxyde de fer.	0,095	0,040	0,120
Eau.	0,160	0,082	0,110
Alumine.	0,045	traces.	0,070
Carbonate de chaux. . . } Carbonate de magnésie. }	0,090	0,120	0,060
		0,035	0,010
Silice.	0,050	0,060 }	0,300
Sable.	0,020	0,015 }	
	1,000	0,982	1,000

N° 1. Minerai de la mine de Moyeuvre, à petites oolithes brunes empâtées dans un ciment bleu; poussière d'un brun bleuâtre.

N° 2. Minerai de la tranchée à ciel ouvert de Valerz dans la concession d'Ottange; c'est une agrégation très-confuse de parties brunes, vertes, bleues, qui forme la partie inférieure du gîte; sa poussière est de couleur brune olivâtre.

N° 3. Minerai provenant d'une recherche entreprise sur le territoire de la commune de Châtel-Saint-Germain, à l'entrée de la vallée de Monvaux; sa poussière est verdâtre. On a trouvé dans ce minerai de la pyrite en rognons cristallisés à la surface.

Nous avons aussi analysé un fragment des plaquettes brunes passant à l'hématite qui se rencontrent avec abondance dans l'hydroxyde oolithique. L'échantillon sur lequel on a opéré provient de l'exploitation à ciel ouvert de Saulnes; il est compacte, d'un brun foncé; on distingue dans la pâte quelques oolithes; sa poussière est d'un brun jaunâtre. Il a donné :

	gr.
Peroxyde de fer.	0,620
Eau.	0,120
Silice, sable et argile.	0,150
Alumine.	0,017
Carbonate de chaux.	0,030
Carbonate de magnésie. . . .	0,060
	0,977

Minerai de la période tertiaire. La lisière Nord-Ouest du département de la Moselle renferme de nombreux dépôts de minerais de fer en grains que l'on rapporte à la période tertiaire et qui ont été décrits dans le mémoire déjà cité (1). Ce minerai se présente en blocs de dimensions variables, quelquefois énormes, et en grains au milieu d'argiles sableuses, tantôt simplement superficielles, tantôt s'enfonçant dans de grandes poches et dans des fissures rectilignes, lesquelles sont alignées suivant des directions déterminées et dont les parois sont formées par les couches de l'étage oolithique inférieur. Quelques-uns de ces minerais à surfaces couvertes d'aspérités délicates paraissent être dans la position où ils se sont formés, tandis que d'autres à surfaces lisses ont évidemment subi l'action de courants diluviens. On les rencontre fréquemment mélangés dans le même gîte, ce qui porte à croire qu'ils ont la même origine. Leurs caractères minéralogiques sont du reste identiques. Ce sont des hydrates bruns veinés de jaune, légèrement caverneux et offrant des géodes tapissées de petits cristaux de quartz; leur poussière est jaune. On trouve cependant, dans

(1) Voir les Annales des mines, tome XVI, 4e série, pages 427-494.

ces espèces de gîtes, des minerais d'un brun foncé taché de rouge dont la poussière est elle-même de cette couleur, soit parce qu'ils renferment une certaine quantité de peroxyde anhydre, soit parce que leur état d'hydradation diffère de celui des premiers. Les uns comme les autres présentent assez souvent des taches irisées qui semblent déceler la présence de minéraux étrangers; mais nous nous sommes assurés, par de nombreux essais, que ces taches sont dues à des phénomènes particuliers de lumière et que les minerais en grains du département de la Moselle ne renferment aucun des éléments propres à altérer la qualité du fer. C'est à ces minerais, dont la richesse varie entre 40 et 40 p. 100, qu'est due la réputation des fontes et des fers au bois de la Moselle. Ils sont exploités dans un grand nombre de localités; nous citerons parmi les plus importantes: les bois d'Aumetz, d'Audun-le-Riche et d'Ottange, les forêts de Buth et de Selomont, les terres de Godbrange, Longwy, Lexy, Bromont, la Malmaison et Vezin, les bois de Saint-Pancré, etc.

Cette formation si précieuse pour l'industrie du fer se trouve à l'autre extrémité du département, dans les collines qui dominent les villages de Berweiler, Nieder-Willing, Remering et Château-Rouge; mais elle y est moins développée que dans l'arrondissement de Briey. Le minerai de fer de ces localités est en grains rarement plus gros que le poing; il remplit des fentes sinueuses, des espèces de cavernes creusées dans les couches solides du muschelkalk supérieur. Il n'est pas rare de trouver disséminés dans ce minerai des débris d'animaux vertébrés.

Nous présentons ici les résultats de trois ana-

lyses faites sur les minerais provenant des gîtes principaux de l'arrondissement de Briey et d'une analyse faite sur le minerai exploité dans le muschelkalk, à Berweiler.

	Butte. n° 1. gr.	Aumetz. n° 2. gr.	Fresnois. n° 3. gr.	Berweiler. n° 4. gr.
Peroxyde de fer. . .	0,680	0,685	0,770	0,340
Oxyde de manganèse.	»	0,005	»	0,010
Eau.	0,100	0,110	0,080	0,060
Alumine.	0,010	0,025	0,040	0,015
Chaux.	»	»	traces.	traces.
Magnésie.	»	0,004	traces.	traces.
Silice.	0,200	0,055	0,060	0,055
Sable.		0,110	0,050	0,520
	1,000	0,994	1,000	1,000

N° 1. Minerai de la forêt de Butte, brun veiné de jaune, à poussière jaune.

N° 2. Minerai du quart en réserve des bois d'Aumetz, brun, traversé par de petites veinules de quartz, à poussière jaune.

N° 3. Minerai du quart en réserve du bois de Fresnois-la-Montagne; il est brun taché de rouge, sa poussière est d'un rouge brunâtre assez foncé. Il renferme beaucoup moins d'eau que les précédents.

N° 4. Minerai en petits grains arrondis, exploité à Berweiler, brun taché de rouge; sa poussière est d'un brun passant au rouge. Il est beaucoup moins riche que les précédents; on l'exploite pour le haut-fourneau de Creutzwald.

On a rencontré, dans ces derniers temps, dans les gîtes de minerais en grains de l'arrondissement de Briey, des rognons d'une substance noire, terreuse, veinée de bleu, tachant fortement les doigts, que nous avons reconnu être un minerai de man-

ganèse très-riche. On a signalé, au milieu de dépôts analogues, la présence d'oxydes de manganèse hydratés; mais le minerai dont il s'agit est un peroxyde anhydre presque pur. Il paraît être malheureusement assez rare; cependant, comme le manganèse se rencontre en proportions quelquefois assez notables dans les minerais que nous venons de décrire, rien n'indique que l'on ne trouvera pas un jour un dépôt dans lequel les blocs de pyrolusite se seront concentrés. Nous en avons examiné un échantillon de la manière suivante:

Le mode d'analyse a été le même que pour les minerais de fer contenant du manganèse. Nous avons de plus, cependant, essayé de déterminer si, avec le peroxyde contenu dans ce minerai, il ne s'y trouvait pas aussi un oxyde moins oxygéné. On arrive, comme on le sait, à cette détermination par divers moyens, qui tous consistent dans l'appréciation de la quantité de chlore produite par un poids donné de minerai traité par l'acide chlorhydrique. Le chlore peut être recueilli dans une dissolution de potasse caustique ou d'acide sulfureux. Nous avons employé l'acide sulfureux en prenant, pendant l'expérience, les précautions indiquées par M. Regnault. Dans un ballon d'un litre environ, on fit bouillir de l'eau distillée pour la priver d'air : on ajouta à cette eau du chlorure de barium, et on y fit passer un courant d'hydrogène jusqu'à son entier refroidissement. C'est alors qu'elle fut chargée d'acide sulfureux lavé et obtenu par la réaction de l'acide sulfurique sur le mercure. Dans cette dissolution se rendait le chlore provenant de la réaction de l'acide chlorhydrique sur un poids connu de minerai. Le chlore transformait immédiatement l'acide sulfu-

reux en acide sulfurique qui réagissait à son tour sur le chlorure de barium et produisait du sulfate de baryte, dans lequel l'oxygène de la base représentait exactement celui fourni par l'oxyde de manganèse soumis à l'examen. C'est en opérant ainsi que nous avons reconnu que le manganèse dans ce minerai se trouvait complétement à l'état de peroxyde. Il est composé de :

	gr.
Peroxyde de manganèse. . . .	0,843
Peroxyde de fer.	0,040
Eau.	0,035
Silice gélatineuse.	0,030
Alumine.	0,010
Magnésie.	0,020
Sable.	0,030
	1,008

La silice gélatineuse forme probablement, avec l'alumine, la magnésie et l'eau, une espèce d'argile qui se trouve en très-petite quantité dans le minerai.

Dans les fourneaux au bois, où l'on fond le minerai en grains de l'arrondissement de Briey avec l'hydroxyde oolithique, il se forme, comme à Creutzwald, une cadmie qui se dépose un peu au-dessous du gueulard. Un échantillon recueilli à l'usine d'Ottange nous a fourni à peu près la même composition que celle de cette dernière localité. Nous n'avons pu cependant découvrir de traces de soufre ou de métaux étrangers dans les minerais qui sont fondus dans cette usine, et nous ne savons encore auquel des deux il faut attribuer le zinc et le plomb de la cadmie (1). Ces métaux sont

(1) Depuis la rédaction de cette notice, M. Communaux, directeur de l'usine d'Ottange, a remis à l'un de

probablement contenus dans l'un d'eux en très-petite quantité, et ils ne s'y rencontrent qu'accidentellement. La cadmie soumise à l'analyse par le procédé déjà décrit est de couleur vert réséda, et composée de :

Oxyde de zinc.	0,770
Oxyde de plomb.	0,115
Protoxyde de fer.	0,035
Chaux.	0,010
Magnésie.	traces.
Silice et sable.	0,025
Charbon.	traces.
	0,955

Minerais de la période diluvienne. A la période diluvienne correspondent dans le département de la Moselle des dépôts assez abondants de minerais, qui proviennent de la destruction de l'étage oolithique inférieur. Les éléments dont ils sont formés sont principalement empruntés aux veinules hématiteuses des couches d'hydroxyde oolithique et du grès sur lequel elles reposent; on y rencontre cependant aussi des fragments roulés

---

nous un échantillon du minerai de Valerz qui explique très-bien la circonstance que nous signalons. C'est une géode de calcaire lamellaire tapissée à l'intérieur de cristaux et empâtée dans une masse de minerai coquillier; on y distingue : 1° de la galène en gros cristaux cubiques et en petites lamelles irisées recouvrant les faces des cristaux de carbonate de chaux; 2° de la blende en petites veinules brunâtres; 3° de la pyrite de fer; 4° de la baryte sulfatée lamellaire d'un rouge de chair. Il y a lieu de croire que ces diverses substances ne sont point disséminées uniformément dans le gîte d'hydroxyde oolithique, mais qu'elles y sont localisées en quelques points, de telle sorte que l'analyse chimique est impuissante à les découvrir dans des échantillons de petites dimensions.

qui appartiennent aux minerais de la période tertiaire. Les minerais de la période diluvienne se présentent, en petites plaquettes arrondies sur les angles, au milieu d'argiles sableuses; ils sont déposés aux pieds de la falaise qui termine le plateau jurassique et l'enveloppent comme une ceinture. Bien que les dépôts de ces minerais soient assez étendus dans le département, ils n'ont été exploités jusqu'ici qu'en deux points, dans la forêt domaniale de Florange et au-dessous du village de Russange. Ils sont assez riches; malheureusement ils renferment de l'acide phosphorique en proportion assez notable. Quelques auteurs ont annoncé y avoir trouvé des traces de soufre et d'arsenic; mais les essais très-nombreux que nous avons faits pour y rechercher ces deux substances ne nous en ont point accusé, bien que nous ayons opéré sur des masses considérables. Nous donnons ici la composition de deux minerais provenant des localités citées plus haut.

	Florange. n° 1. gr.	Russange. n° 2. gr.
Peroxyde de fer. . .	0,720	0,664
Eau.	0,125	0,120
Silice gélatineuse. . .	0,025	0,015
Alumine.	0,028	0,025
Chaux et magnésie..	traces.	»
Sable et argile. . . .	0,197	0,160
Acide phosphorique.	traces.	0,008
	0,985	0,992

N° 1. Minerai de la forêt de Florange; il est en plaquettes et en gros grains arrondis; sa poussière est jaune. Il est exploité pour l'usine d'Hayange.

N° 2. Minerai provenant des champs au-dessous

du village de Russange, en plaquettes à surfaces mamelonnées et roulées. Il a été exploité il y a deux ans, mais la fonte qu'on en a obtenue a été trouvée si mauvaise, qu'on a dû renoncer à l'employer. C'est celui de tous les minerais soumis à l'analyse qui renferme la plus grande proportion de phosphore.

MÉMOIRE

Sur la constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges;

Par M. DELESSE, ingénieur des mines.

CALCAIRE SACCHAROÏDE DU GNEISS.

On observe accidentellement dans le *Gneiss* des Vosges des lambeaux d'un *Calcaire saccharoïde* qui est très-remarquable par la netteté ainsi que par la grande variété des minéraux qui s'y sont développés (1).

Je vais décrire quelques gisements de ce calcaire, en commençant par celui du Chippal, qui est l'un des plus simple.

Calcaire saccharoïde du Chippal.

Le calcaire saccharoïde du Chippal, près la Croix-aux-Mines, forme une masse assez irrégulière de 15 à 20 mètres de largeur sur 50 mètres de longueur (1). Il est enclavé dans un gneiss schistoïde contenant du quartz, de l'orthose et beaucoup de mica brun tombac. Ce calcaire est traversé par une roche granitoïde rosâtre ou brunâtre, à structure grenue, qui est presque entièrement formée de feldspath orthose; la *fig.* 9 (*Pl. X*) que j'ai prise **Gisement du Chippal.**

(1) Dufrénoy et E. de Beaumont. Explication de la carte géologique de France, t. I, p. 312. — Rozet. Description géologique de la chaîne des Vosges, p. 65. — Hogard. Aperçu sur la constitution du département des Vosges, p. 83. — Puton. Rapport sur les marbres des Vosges.

dans l'une des carrières supérieures sur le flanc Nord-Est de la colline des Journaux, montre quelles sont les relations de gisement du calcaire C et de cette roche granitoïde R. On voit que ces deux roches amenées simultanément à l'état fluide se sont pénétrées l'une l'autre, mais que la roche granitoïde R, a été injectée dans le calcaire C sous forme de filons très-irréguliers; elle fait, du reste, une vive effervescence avec les acides (1), par suite des infiltrations du calcaire.

Hydrosilicate au contact du calcaire et de la roche granitoïde.

Au contact du calcaire, la roche granitoïde R est bordée, sur une épaisseur ayant souvent plusieurs centimètres, par un *hydrosilicate p*, vert, à éclat gras, moins dur que le feldspath, et qui est souvent accompagné ou imprégné de quartz. Cet hydrosilicate résulte sans doute d'un commencement de pseudomorphose de la pâte feldspathique de la roche R; M. Braconnot (2), qui en a fait un essai, a constaté en effet qu'il renferme bien les substances qui entrent généralement dans la composition du feldspath orthose, mais qu'il contient en outre de la magnésie, de la chaux et seulement des traces de potasse. J'ai trouvé d'ailleurs qu'il fond avec bouillonnement, presque aussi facilement que l'orthose, que sa perte au feu est de 8 p. 100, qu'il contient beaucoup d'alumine, peu d'oxyde de fer et moins de magnésie que la serpentine dont on lui a généralement donné le nom : d'après les essais qui précèdent, cet hydrosilicate vert, dont la composition n'est sans doute pas définie, paraît donc plutôt tendre à se rapprocher de la pyrosklérite qui sera décrite plus loin.

(1) Explication de la carte géologique, t. I, p. 312.
(2) Mougeot. Compte-rendu, 1838-39, p. 12, etc.

Il s'observe avec une grande constance à la séparation des calcaires saccharoïdes et des roches granitiques, formant ainsi une sorte de salebande entre ces deux roches.

En dissolvant par un acide le calcaire au contact de la *roche* R du Chippal, j'ai remarqué que sa *salebande* s'engage dans le calcaire sous la forme de *lamelles* très-minces qui ont la structure de la variété de quartz dite hachée, ces lamelles se sont moulées dans les interstices laissés par les clivages de la chaux carbonatée et elles sont disposées par groupes qui reproduisent en relief tous les accidents de ces clivages.

Le *calcaire* du Chippal est un marbre d'un beau blanc ayant une structure cristalline à grandes lamelles, comme le marbre de Paros; quelquefois cependant il est compacte. Il a été exploité pour la marbrerie d'Épinal ainsi que pour la fabrication de la chaux; par la cuisson il donne de la chaux grasse, et M. Braconnot a constaté que c'est du carbonate de chaux pur. Calcaire.

Différents minéraux s'observent dans ce carbonate de chaux, notamment dans les carrières qui sont à la partie supérieure de la colline; tantôt ils y sont irrégulièrement disséminés, tantôt ils y forment des rognons *r* ou des veines, qui, comme le montre la *fig.* 9, sont parallèles à la ligne de contact du calcaire C avec la roche R dont elles suivent toutes les inflexions : ces minéraux sont le *pyroxène*, le *mica*, la *pyrosklérite*, qui est blanche ou verdâtre et qui dans certains cas pénètre le calcaire sous forme d'arborisations; accidentellement il y a un peu d'*amphibole*, de *quartz* et du *graphite*, qui est en paillettes microscopiques d'un beau noir, mais assez rares. Minéraux dans ce calcaire.

Quelquefois il y a du *spinelle* en petits octaèdres gris bleuâtres et transparents. MM. Puton et Fournet (1) y ont encore signalé de la *condrodite* en petites concrétions d'un jaune orange.

Pyroxène (Salite). Le *pyroxène* forme presque entièrement les rognons tels que *r* qui se trouvent dans le calcaire des carrières supérieures du Chippal (*Pl. X, fig.* 9) : ces rognons sont ordinairement entourés par du mica.

Il est en cristaux représentés par la *fig.* 10, qui est celle habituelle au pyroxène salite (2) : il possède les clivages parallèles aux faces primitives M et aux plans diagonaux g^1, h^1, ainsi que le clivage parallèle à la base P ; ce dernier est même assez facile.

Il a une dureté plus faible que celle du pyroxène ordinaire, et il est doux au toucher comme la serpentine.

Par l'exposition à l'air, il se rubéfie et il prend d'abord une couleur rouge vif.

Calciné dans le tube fermé, il devient brun noirâtre, et il conserve son éclat nacré, en même temps il dégage beaucoup d'eau ayant une odeur empyreumatique.

Au chalumeau, il fond plus difficilement que le feldspath en un verre blanc verdâtre.

J'ai analysé des cristaux verts un peu grisâtres de ce pyroxène du Chippal, après les avoir débarrassés de leur gangue.

Leur densité est de... 3,048 ; j'ai trouvé d'un autre côté que la densité de l'augite de Ternay

(1) Bulletin de la Société géol., 2e série, t. IV, p. 232.
(2) Dufrénoy. Minéralogie, t. III, p. 600.

est de... 3,135 (1); les densités de ces deux pyroxènes sont donc très-petites et elles sont même inférieures à la densité *minima* du pyroxène qui, d'après M. Naumann, est de 3,2. Il importe de remarquer à ce sujet que ces deux pyroxènes contiennent plusieurs centièmes d'eau; par conséquent les pyroxènes qui contiennent de l'eau ont une densité inférieure à la densité *minima* : c'est le contraire de ce qui a lieu pour les feldspath du 6e système, car j'ai constaté antérieurement que ceux de ces feldspaths qui contiennent de l'eau ont une densité élevée ou même supérieure à la densité *maxima* (1) ; la densité de ces feldspath, de même que celle du talc (2), diminue d'ailleurs par calcination et on conçoit qu'il en sera ordinairement ainsi, soit pour les pyroxènes avec eau, soit en général pour les hydrosilicates.

L'analyse des cristaux de pyroxène du Chippal m'a donné la composition suivante :

Silice.	54,01
Alumine.	1,10
Protoxyde de fer.	4,25
Protoxyde de manganèse.	traces.
Chaux.	16,10
Magnésie (diff.).	20,94
Perte au feu.	3,60
Somme. . .	100,00

La composition de ce pyroxène présente plusieurs particularités remarquables.

Il est extraordinaire, en effet, que sa perte au feu, qui consiste en eau, soit aussi considérable; dans un essai particulier sur d'autres cristaux que

(1) Annales des Mines, 4e série, t. XII, p. 291 et 295.
(2) Annales des Mines, 4e série, t. IX, p. 313.

ceux qui viennent d'être analysés, j'ai cependant obtenu une perte plus grande encore, qui était égale à 4,30.

J'avais d'abord pensé que ce minéral pourrait s'attaquer par les acides; mais en employant l'acide sulfurique bouillant, j'ai obtenu un résidu de 75 pour 100, et par conséquent l'attaque avait été très-incomplète; en conséquence, j'ai eu recours au carbonate de potasse pour le décomposer.

J'ai trouvé qu'il contenait 1,10 d'alumine; comme ses cristaux se sont généralement formés dans un calcaire, cette alumine ne saurait provenir du milieu dans lequel ils se sont développés : on doit donc la regarder, de même que dans les autres pyroxènes, comme étant à l'état de combinaison et non à l'état de mélange : la teneur en silice du salite, qui est plus élevée que celle de l'augite, indique d'ailleurs que dans l'augite l'alumine se substitue à une certaine quantité de silice.

Il importe d'observer que ce pyroxène n'est pas riche en chaux, bien qu'il ait cristallisé dans du calcaire; d'un autre côté, il contient une quantité notable d'eau de combinaison; il me paraît donc probable, d'après les idées développées par M. Bischof, que la chaux a été éliminée, tandis que de l'eau et de la magnésie lui étaient substituées et entraient en combinaison dans le minéral par voie de pseudomorphose.

Il a la même teneur en silice et en oxyde de fer que le salite de Sala analysé par H. Rose, qui se trouve également dans du calcaire saccharoïde (1); d'après sa forme, ses clivages et sa composition chimique, ce minéral doit donc être regardé comme

(1) Hausmann. Minéralogie, p. 478.

une variété de *salite* ou de *malacolithe*, c'est-à-dire comme un *pyroxène* à base de magnésie et de chaux avec un peu d'oxyde de fer ; il est remarquable par sa dureté et par sa densité, qui sont très-faibles, par une certaine douceur au toucher, par sa grande teneur en eau, et enfin par sa petite teneur en chaux, qui est inférieure d'un tiers à celle du salite de Sala.

La pyrallolite de M. Nordenskiöld (1), qui se trouve dans le calcaire saccharoïde de Storgård en Finlande, a des angles qui diffèrent peu de ceux du pyroxène, et sa composition chimique se rapproche d'ailleurs beaucoup de celle du salite du Chippal ; toutefois sa densité est encore beaucoup plus petite, car elle est seulement de 2,57.

Le pyroxène du Chippal est le plus souvent décomposé, et ses cristaux, qui s'égrènent entre les doigts, sont réunis et enveloppés par un ciment plus tendre et d'un vert plus foncé, dont les propriétés physiques rappellent la serpentine : ce ciment prend quelquefois une structure fibreuse, et il forme alors des veinules asbestiformes d'une vert clair comme le chrysotil. La structure asbestiforme s'observe toutefois dans plusieurs minéraux, et il m'a paru que ces veinules asbestiformes sont un peu plus compactes que celles du Chrysotil ; je pense donc qu'elles doivent être regardées comme un produit de décomposition et de sécrétion tel que celui qui a été trouvé par M. Coquand dans le pyroxène de l'étang de Lherz (Pyrénées) ; ce dernier gisement a en effet la plus grande analogie avec celui du Chippal, et le pyroxène lherzolithe qui présente aussi divers degrés d'altération

(1) Hausmann. Minéralogie, p. 454.

est en amas stratifiés très-puissants qui sont également intercalés dans un calcaire saccharoïde (1).

Calcaire saccharoïde de Laveline.

Gisement de Laveline.

Près de Laveline on observe encore plusieurs amas d'un calcaire saccharoïde qui est une variété de celui vient d'être décrit : il est lamelleux, blanc grisâtre ou gris légèrement bleuâtre. (Voir Ann. des Mines, 2e sér., t. XIX, *Pl. II*, *fig.* 10.)

On y trouve souvent du *feldspath* blanc qui s'est développé suivant des veines, tantôt parallèles, tantôt irrégulièrement disséminées, comme le montre la *fig.* 10, *Pl. II*; quand il devient abondant, le calcaire passe insensiblement au gneiss encaissant, duquel il n'est d'ailleurs pas séparé d'une manière nette. La composition minéralogique de ce gneiss duquel il sera encore parlé plus loin, ne diffère pas de celle que M. Naumann (2) attribue au gneiss en général.

Minéraux dans ce calcaire.

Le *calcaire* de Laveline contient de la *pyrosklérite*, de l'*amphibole trémolite*, du *mica*, de la *pyrite de fer magnétique* et *ordinaire*, ainsi qu'un grand nombre de petits grains noirs, éclatants, cristallins, laissant sur le papier une empreinte noire, qui sont du *graphite* : de même que beaucoup de calcaires saccharoïdes, il dégage d'ailleurs par le choc du marteau une odeur fétide et bitumineuse.

On y trouve aussi du *sphène* brun en cristaux microscopiques.

Enfin il y a souvent du *quartz* qui forme des

---

(1) Bulletin de la Société géol., 1re s., t. XII, p. 332. — De Charpentier. Essai sur les Pyrénées, p. 257.

(2) Naumann Lehrbuch der Geognosie, t. I, p. 545, ect.

veines ou bien de petites agglomérations telles que *q* (*Pl. X*, *fig.* 11), dont les contours extrêmement découpés, comme pourraient l'être ceux d'une carte de géographie, sont bien séparés, soit du feldspath *f*, soit du calcaire *c*. L'agglomération de quartz *q* (*fig.* 11) a été représentée en vraie grandeur : *p* est de la pyrosklérite qui sur cet échantillon est à la séparation du feldspath *f* avec le calcaire C.

A Gemaingoutte, au-dessus de Velupaire, M. Carrière a observé un calcaire saccharoïde qui a tous les caractères de celui de Laveline, et qui est comme lui enclavé dans le gneiss.

Lorsqu'on traite le calcaire de Laveline par un acide, on reconnaît qu'il renferme une très-grande proportion de minéraux qui y sont disséminés ou qui s'y sont développés à la manière d'arborisations : parmi ces minéraux, le feldspath et le quartz contribuent surtout à le rendre très-dur, et font un peu saillie à sa surface, lorsqu'il a été travaillé ; de même que le calcaire du Chippal, il est cependant exploité pour la marbrerie d'Épinal, et ces deux calcaires se vendent au prix de 45 francs le mètre carré poli.

Calcaire saccharoïde du Saint-Philippe.

Le calcaire saccharoïde enclavé dans le gneiss s'observe surtout au-dessous des anciennes mines du Saint-Philippe, près de Sainte-Marie-aux-Mines (Haut-Rhin), et la carrière de pierre à chaux dans laquelle on l'exploite contient une telle variété de minéraux, qu'elle forme un véritable musée de minéralogie. L'état actuel de cette carrière est représenté par la *fig.* 12, *Pl. X*, qui montre les relations de gisement du calcaire C et

Gisement du Saint-Philippe.

du gneiss G. Ces roches sont séparées l'une de l'autre d'une manière plus nette qu'à Laveline; cependant le calcaire C′ se charge d'une grande quantité de mica rouge cuivré ou brun rougeâtre qu'on retrouve également dans le gneiss G′ et il y a en quelque sorte passage du calcaire au gneiss. D'ailleurs les deux roches alternent plusieurs fois ensemble, comme on peut le reconnaître en visitant les anciennes carrières qui sont superposées à celle qu'on exploite maintenant.

Les minéraux se sont assez généralement développés dans le calcaire et même dans le gneiss, suivant des veines qui sont parallèles à la ligne de contact de ces deux roches, ainsi qu'à leur schistosité : cette schistosité plonge vers le S. O. sous une inclinaison de 20° environ.

Calcaire. Le *calcaire* du Saint-Philippe est composé de lamelles blanches cristallines et enchevêtrées dans tous les sens; c'est seulement dans les fissures ou dans les géodes de ce calcaire qu'on observe des cristaux terminés, nets et transparents de chaux carbonatée; ces cristaux qui se sont formés par infiltration sont habituellement le métastatique d^2 (1) simple ou combiné aux rhomboèdres P, b^1, e^1, ainsi qu'au prisme à six faces e^2; le prisme à six faces e^2, surmonté du pointement rhomboédrique b^1.

D'après Monnet, le calcaire du Saint-Philippe est magnésien : des essais que j'ai faits avec M. Carrière, montrent cependant que lorsqu'il est débarrassé des silicates magnésiens qui y sont disséminés, il ne contient que des traces de magnésie; il est donc vraisemblable qu'une partie de la magnésie trouvé par Monnet provenait de ces silicates

(1) Dufrénoy. Minéralogie, t. II, p. 226, etc.

magnésiens qui se laissent d'ailleurs très-facilement attaquer par les acides.

Ce calcaire peut fournir de la *chaux hydraulique* : on emploie spécialement pour cet usage le calcaire dans lequel il s'est développé beaucoup de pyrosklérite et de mica : ainsi dans le val de la petite Lièpvre on exploite, pour l'usine de M. Weisgerber, un calcaire donnant une chaux hydraulique de bonne qualité, qui est généralement riche en pyrosklérite et en mica dont il renferme environ 1/5 de son poids. A Breucharie, commune de Wisembach, on exploitait autrefois un calcaire dont les caractères minéralogiques et géologiques sont, d'après M. Carrière, les mêmes que dans le val de la petite Lièpvre. Il est vraisemblable que dans ces calcaires la chaux est rendue hydraulique par les combinaisons insolubles que la pyrosklérite et le mica calcinés font avec l'hydrate de chaux, car le calcaire de la petite Lièpvre ne contient également qu'une petite quantité de magnésie. Des expériences récentes de M. de Villeneuve ont d'ailleurs montré qu'il y a un très-grand nombre de substances qui mélangées à la chaux peuvent lui donner la propriété d'être hydraulique. Emploi du calcaire saccharoïde pour chaux hydraulique.

Je passe à l'étude des minéraux de la carrière du Saint-Philippe et je commence par ceux qui peuvent être disséminés dans le calcaire. Minéraux dans le calcaire.

Le plus important de ces minéraux est un *mica* qu'on retrouve avec une grande constance dans tous les calcaires saccharoïdes. Lorsqu'il provient de l'intérieur d'un bloc dans lequel il était complétement à l'abri de l'altération atmosphérique, il a une couleur verte, vert grisâtre ou verdâtre. Comme il est en outre doux au toucher, on l'avait jusqu'à présent regardé comme Mica (Phlogodite.)

du talc; mais lorsqu'il a été exposé à l'air ou lorsqu'il se trouve à proximité de fissures par lesquelles l'eau peut s'infiltrer, il prendl'éclat propre au mica, et en même temps une couleur jaune d'or, jaune de miel, rougeâtre, rouge de cuivre ou brun tombac clair : cette couleur est d'autant plus foncée qu'il y a plus de protoxyde de fer combiné, et elle résulte évidemment d'une suroxydation de cet oxyde ou d'une rubéfaction produite par une altération très-légère du mica.

Sa densité est de... 2,746.

. Lorsqu'il est placé dans le polariscope d'Amici, on voit dans une certaine position deux courbes bien distinctes et de forme hyperbolique, dont les sommets sont cependant très-rapprochés. En faisant tourner la lamelle de mica soit à droite, soit à gauche, les sommets se rapprochent davantage, et les deux courbes se transforment peu à peu en deux droites perpendiculaires ou en une croix noire qui est au centre d'un système d'anneaux comme dans les cristaux à un axe; mais quoi qu'il en soit, il résulte de ce qui précède que le mica du calcaire saccharoïde est un mica à deux axes de double réfraction qui sont très-rapprochés.

J'ai analysé un échantillon de ce mica qui était en lamelles contournées; sa couleur verdâtre tirait légèrement sur le jaunâtre, mais elle n'avait pas encore passé au rouge.

J'ai constaté que par calcination il perd sa transparence; il prend alors une couleur blanche éclatante et argentée.

Au chalumeau il s'exfolie et il jette un vif éclat; il fond en un émail blanc, mais difficilement, et seulement sur les bords.

Il ne donne rien de particulier avec le nitrate de cobalt.

Il s'attaque, et même avec facilité, par l'acide sulfurique ou par l'acide chlorhydrique; toutefois, comme il est très-difficile de porphyriser le mica, même après calcination, on obtient généralement un petit résidu non attaqué, et j'ai préféré le décomposer par l'acide fluorhydrique.

J'ai reconnu que la dissolution provenant de l'attaque par l'acide sulfurique contenait le fer à l'état de protoxyde; c'est d'ailleurs ce qui était vraisemblable d'après la couleur verdâtre de ce mica.

J'ai débarrassé les lamelles analysées de la petite quantité de carbonate de chaux qui les imprégnait, en les traitant après calcination par de l'acide acétique faible.

J'ai dosé le fluor par le procédé de Berzelius; j'en ai trouvé très-peu.

J'ai déterminé la magnésie directement, et on peut voir, d'après l'analyse suivante, que la somme des quantités dosées est à très-peu près égale à 100; résultat qui est, du reste, accidentel dans l'analyse d'un minéral aussi complexe que ce mica.

	1° Co^2,Ko.	2° FlH.	Moyenne.	Oxygène.		Rap.
Silice.	37,54	»	37,54		19,508	4
Alumine.	19,88	19,72	19,80.		9,247	2
Protoxyde de fer. .	1,61	1,61	1,61	0,367	13,792	3
— de manganèse.	0,10	0,10	0,10	0,022		
Chaux.	0,70	»	0,70	0,197		
Magnésie.	30,32	»	30,32	11,734		
Soude.	»	1,00	1,00	0,256		
Potasse.	»	7,17	7,17	1,216		
Fluor.	0,22	»	0,22		»	»
Perte au feu. . . .	»	1,51	1,51		»	»
			99,97			

Je n'ai pas obtenu une perte plus grande en chauffant ce mica dans un fourneau de calcination, que celle que j'avais obtenue en le chauffant d'abord sur la lampe à alcool. Il est donc très-vrai-

semblable qu'à la température à laquelle j'ai chauffé, il ne s'est pas dégagé de fluorure de silicium, et que la perte au feu consiste entièrement en eau.

En calcinant d'autres échantillons du même mica, lesquels étaient verdâtres ou rougeâtres, la perte a toujours été supérieure à celle du mica analysé, et la perte la plus grande que j'aie obtenue a été de... 2,51. Dans ce dernier cas, il y avait cependant mélange d'une petite quantité de carbonate de chaux provenant de la gangue.

Ce mica se distingue de tous ceux qui ont été analysés jusqu'ici par sa grande teneur en magnésie, qui est même égale à celle d'une chlorite : c'est sans doute à sa richesse en magnésie qu'il doit d'avoir un éclat gras, d'être un peu doux au toucher, et de se laisser attaquer facilement par les acides.

Ce mica étant riche en magnésie et à deux axes, on voit en outre qu'on ne saurait admettre que les micas à base de magnésie sont à un axe.

Il contient, du reste, de la potasse, comme cela a lieu pour tous les micas à base de magnésie, et j'y ai constaté la présence de la soude : il n'est d'ailleurs pas moins riche en alcalis que les micas à base de potasse.

Il est plus pauvre en oxyde de fer qu'aucun mica à base de magnésie, et cet oxyde est remplacé par de la magnésie.

La chaux est toujours rare et en petite quantité dans le mica : d'après le mode de gisement de celui qui vient d'être analysé, il n'est pas étonnant qu'il en contienne, et, comme je l'ai fait observer précédemment, cette chaux ne saurait provenir d'un mélange de carbonate.

Ce mica est encore remarquable par sa faible teneur en silice, qui est inférieure à celle des micas magnésiens analysés par MM. H. Rose et de Kobell. Par sa grande teneur en magnésie, il se rapproche assez des micas du Vésuve et de Sala, qui ont été analysés par MM. Bromeïs et Svanberg (1), mais il doit être considéré comme une variété du mica désigné par M. Breithaupt sous le nom de *Phlogopite*.

MM. Silliman Jr. et Dana (2) ont constaté que ce mica, qui jusqu'à présent n'avait été trouvé qu'en Amérique, est caractérisé par des axes faisant entre eux un angle compris entre 7° et 18°, et qui, le plus ordinairement, est de 13° à 16°. Le phlogopite du comté de Jefferson (New-York), ainsi que le phlogopite jaune brunâtre argenté du comté Saint-Laurent (New-York), ont été analysés par MM. Meitzendorff et Craw (2), qui ont obtenu à peu près les mêmes résultats que pour le mica du Saint-Philippe.

Le mica du Saint-Philippe contenant très-peu d'oxyde de fer, et l'une de ses bases, la magnésie, y étant très-prédominante, il était naturel de croire qu'il se laisserait représenter par une formule simple : Il est facile de voir, en effet, que les proportions d'oxygène de $\dot{R}$, $\dddot{R}$, $\dddot{Si}$ sont entre elles :: 3 : 2 : 4, ce qui conduit pour ce mica, et pour le phlogopite en général, à la formule



On trouve également, dans le calcaire du Saint- Pyrosklérite.

(1) Rammelsberg. Handwörterbuch, p. 263, et 1er Supplément, p. 61.

(2) Silliman. American Journal, nov. 1850, p. 375 et 383.

Philippe, un minéral qui me paraît être une variété de *pyrosklérite*.

Il a une belle couleur verte assez claire qui tire quelquefois sur le blanc ou sur le gris, sur le vert bleuâtre, sur le vert pomme et sur le vert émeraude; son éclat est gras et cireux; sa dureté est un peu inférieure à 3 ou à celle de la chaux carbonatée; aussi, jusqu'à présent, il a toujours été regardé comme de la serpentine : il s'en distingue cependant par sa structure cristalline.

De même que la pyrosklérite de M. de Kobell, il a en effet un premier clivage assez facile et à éclat légèrement nacré; il a aussi un deuxième clivage beaucoup moins facile et qui est perpendiculaire au premier; enfin j'ai observé en outre un troisième clivage qui est rudimentaire et oblique aux deux précédents.

Sa cassure est inégale et un peu esquilleuse.

Sa poudre est blanche.

Il se laisse couper au couteau et tourner.

J'ai déterminé la densité de deux échantillons différents, et j'ai trouvé 2,624 pour le premier, 2,619 pour le deuxième; soit en moyenne... 2,622. Cette densité, supérieure à celle de la serpentine, est inférieure à celle de la pyrosklérite de Kobell.

Quand on le calcine, il prend une couleur blanche nacrée, et sa dureté augmente beaucoup, car elle est à peu près égale à 7; en même temps il devient opaque, tandis qu'il était translucide et quelquefois transparent.

Chauffé faiblement, de manière à ce qu'il ne perde qu'une petite partie de son eau, il prend également une couleur blanche et opaque; mais il reprend sa translucidité et sa couleur verte lors-

qu'on le laisse plongé dans l'eau pendant quelque temps.

Il ne perd toute son eau que quand on le chauffe à un bon feu de charbon dans un fourneau de calcination; ce fait s'observe pour certains hydrosilicates de magnésie, et notamment pour le talc (1).

Il s'attaque complétement par l'acide chlorhydrique bouillant, bien que ce ne soit pas sans difficulté; il se gonfle, mais la silice ne fait pas gelée, et elle est même assez grenue pour passer à travers les pores du filtre.

Au chalumeau il fond avec bouillonnement, un peu plus difficilement que l'orthose, en un verre blanchâtre et opalin.

Avec le nitrate de cobalt, il prend une couleur bleue assez pure; mais seulement lorsqu'il commence à se fritter.

J'ai analysé un échantillon de ce minéral du Saint-Philippe qui était d'un beau vert bleuâtre; il formait des lamelles clivables ayant plusieurs centimètres de longueur, qui occupaient la partie centrale d'un rognon de pyrosklérite compacte entourée de mica. Ces lamelles m'ont paru pures, et on n'y apercevait aucun mélange soit avant, soit après calcination; leur analyse m'a donné:

Silice	38,39			19,949
Alumine	26,54			12,404
Oxyde de chrôme	traces			
Protoxyde de fer	0,59	0,134	}	8,871
Protoxyde de manganèse	traces		}	
Chaux	0,67	0,188	}	
Magnésie (diff.)	22,16	8,549	}	
Eau	11,65			10,357
Somme	100,00			

(1) Ann. des mines, 4e s., t. IX : talc et stéatite, p. 315.

sente sa composition chimique, j'ai cru devoir lui conserver le nom de *pyrosklérite*.

La *pyrosklérite* (1) joue un rôle important dans la géologie, et elle a généralement été décrite comme de la serpentine avec laquelle il est d'autant plus facile de la confondre qu'elle lui est souvent associée; elle s'en distingue toutefois par sa structure un peu lamelleuse, par un éclat légèrement nacré, par sa fusibilité au chalumeau qui est plus grande que celle de la serpentine, par la couleur blanche que lui donne la calcination, ainsi que par la couleur bleue qu'elle prend lorsqu'on la chauffe fortement après l'avoir humectée avec le nitrate de cobalt.

Les rognons de pyrosklérite du Saint-Philippe sont accidentellement traversés par des veinules asbestiformes, nacrées, blanchâtres ou blanc-verdâtres qui ne se continuent pas dans le calcaire; elles sont probablement formées par de la pyrosklérite fibreuse ayant une structure asbestiforme.

Pyrites. — Pyrite magnétique.

Il y a quelquefois de la *pyrite de fer* ordinaire et surtout de la *pyrite de fer magnétique* qui a d'abord été signalée par M. Carrière; cette pyrite magnétique est en veines ou en petits nodules ré-

(1) Dans les collections de minéralogie la plupart des échantillons qui sont étiquetés comme Serpentine noble sont de la pyrosklérite. On a souvent employé la pyrosklérite pour divers ornements et elle se laisse tourner ou tailler très-facilement sous forme de coupes, de boîtes et de magots : on la travaillait particulièrement à Venise, aussi lui donne-t-on quelquefois le nom de *talc vénitien*. Les trésors des anciens rois de France, qui se trouvent au Musée du Louvre, renferment plusieurs objets remarquables en pyrosklérite polie.

Elle forme le plus souvent l'un des éléments des roches qu'on désigne sous le nom d'*ophicalce* et de *cipolin*.

pandus dans le calcaire et elle peut être engagée jusque dans les lamelles mêmes du mica.

J'ai observé aussi dans le calcaire du Saint Philippe du *spinelle* en cristaux d'un gris blanchâtre ou bleuâtre plus ou moins foncé; ces cristaux, qui peuvent atteindre 1 centimètre, sont l'octaèdre régulier simple ou l'octaèdre légèrement tronqué sur les arêtes. Lorsqu'on les a dégagés du calcaire par un acide, ils se laissent désagréger avec la plus grande facilité et on reconnait alors que les cristaux les plus gros sont formés de l'agglomération de petits cristaux de spinelle également octaédriques, qui diffèrent souvent beaucoup par leur couleur. Spinelle.

Enfin, de même que dans tous les calcaires saccharoïdes des Vosges, j'ai trouvé de petites lamelles de *graphite*. Dans le calcaire du Saint-*Philippe*, il y a en outre des taches noirâtres qui sont dues à une matière bitumineuse; cette matière bitumineuse est associée notamment avec le spinelle et avec la pyrite magnétique. Graphite.

Tels sont les minéraux qui peuvent être disséminées dans le calcaire du Saint-Philippe; les minéraux desquels je vais parler maintenant forment de petits *filons* très-complexes qui pénètrent le gneiss et dans lequel leurs cristaux sont ordinairement plus gros et mieux développés que dans le calcaire : cependant on retrouve ausei la plupart de ces minéraux dans le calcaire; ils y forment généralement des *rognons* dans lesquels ils sont associés avec un ou plusieurs des minéraux disséminés que je viens de décrire. Minéraux en filons dans le gneiss se retrouvant en rognons dans le calcaire.

Le plus important de ces minéraux est un *orthose* blanc opaque, ayant une teinte légèrement grisâtre ou bleuâtre. Il est bien cristallisé dans le Orthose.

gneiss, et il présente des lamelles à faces éclatantes, mais contournées. Il n'offre pas la mâcle habituelle à l'orthose qui constitue les roches granitoïdes; il importe de remarquer à ce sujet que la même particularité a déjà été signalée pour l'orthose des filons de la pegmatite de Saint-Etienne (1), et que l'orthose du Saint-Philippe forme également des filons dans le gneiss.

L'analyse de cet orthose qui est associé avec du pyroxène malacolithe, dont il enveloppe souvent les cristaux, m'a paru devoir présenter de l'intérêt.

J'ai trouvé pour sa composition chimique :

Silice.	64,04
Alumine.	19,92
Chaux.	0,39
Magnésie.	0,33
Soude.	2,18
Potasse.	11,48
Somme.	98,34

On voit que ce minéral est un orthose dont la composition chimique ne diffère pas de celle de l'orthose des granites et qui contient les deux alcalis, comme je l'ai déjà constaté antérieurement dans plusieurs analyses d'orthose. Sa teneur en silice est un peu faible, ce qui semble compensé par une teneur en alumine élevée.

Oligoclase. Cet orthose est assez souvent accompagné par un deuxième feldspath également blanc et opaque, qui s'en distingue, quoique assez difficilement par son éclat un peu gras. Quelques lamelles ont même une nuance légèrement verdâtre et montrent la mâcle caractéristique des feldspaths du

(1) Annales des mines, 4e série, t. XVI, p. 98.

sixième système; elles doivent être rapportées à l'*oligoclase*.

Ces deux feldspaths sont associés avec du *pyroxène* et avec de l'*amphibole*.

Le *pyroxène* est en cristaux allongés qui sont très-nets, et qui ont souvent plusieurs centimètres. Sa couleur est le vert asperge grisâtre. De même que le salite du Chippal, il a des clivages parallèles aux faces M et à la base P (*Pl. X*, *fig.* 10). Pyroxène. (Malacolithe.)

Sa forme la plus habituelle est le prisme à six faces résultant de la combinaison de M et de h^1 : quelquefois le prisme est à huit faces par l'addition de g^1. Ces prismes sont terminés par la base P.

J'ai analysé des cristaux de ce pyroxène du Saint-Philippe qui étaient engagés dans l'orthose dont je viens de faire connaître la composition.

J'ai trouvé qu'ils contenaient :

Silice.	53,42
Alumine.	1,38
Protoxyde de fer.	8,53
Chaux.	21,72
Magnésie (diff.).	14,95
Somme.	100,00

Ce pyroxène est un *pyroxène malacolithe* qui diffère très-peu de ceux de Björmyresweden (Dalécarlie) et du lac Baïkal qui ont été analysés par M. H. Rose (1).

Si on le compare à celui du Chippal, on voit que la teneur en silice de ces deux pyroxènes est à peu près la même, quoique la gangue de l'un soit de l'orthose et la gangue de l'autre du carbonate de chaux.

On peut remarquer aussi que celui du Saint-

(1) Rammelsberg. Handwörterbuch, p. 60.

Philippe, qui ne contient pas d'eau est plus pauvre en magnésie, et au contraire plus riche en oxyde de fer et en chaux que celui du Chippal; il semblerait cependant plus naturel de croire que ce dernier, qui a cristallisé dans du calcaire, doit être le plus riche en chaux : il est donc probable que ce pyroxène du Chippal a été pseudomorphosé, et qu'il a perdu une partie de sa chaux et de son oxyde de fer qui ont été remplacés par voie de substitution par de la magnésie et par de l'eau.

Amphibole. L'*amphibole* est en grands cristaux ayant souvent plus d'un centimètre de côté qui se sont développés préférablement au pyroxène, lorsque le feldspath a un éclat gras, ou lorsqu'il appartient au sixième système. Cette amphibole a une couleur vert grisâtre ou vert noirâtre; par l'altération atmosphérique elle devient brune et elle prend un éclat métallique et bronzé très-vif; aussi a-t-elle été décrite jusqu'à présent comme du diallage, et l'éclat gras du feldspath qui lui est associé, fait en effet ressembler certains échantillons isolés à de l'euphotide.

Elle est extrêmement lamelleuse.

J'ai analysé des cristaux de cette amphibole qui ont été extraits d'un rognon feldspathique se trouvant dans le gneiss; ils avaient une couleur brun noirâtre et un éclat bronzé très-vif; leur poudre était grise légèrement nuancée de brun. Dans leur intérieur il s'était développé des lamelles de mica, desquelles il était impossible de les séparer complétement.

Leur densité est égale à... 3,076.

J'ai trouvé pour leur composition :

Silice.	44,82
Alumine.	13,18
Oxyde de chrôme.	traces
Protoxyde de manganèse. . .	traces
Protoxyde de fer.	11,17
Chaux.	9,69
Magnésie (par diff.).	19,48
Perte au feu.	1,66
Somme.	100,00

M. le docteur Carrière, qui a également analysé ces cristaux, m'a annoncé avoir obtenu à peu près les mêmes résultats.

Il est donc démontré par l'analyse que ce minéral est bien de l'amphibole, et sa composition se rapproche d'ailleurs beaucoup de celle de l'amphibole du Gabbro de la Prese, analysée par M. Kudernatsch (1).

Si on compare cette amphibole au pyroxène du Saint-Philippe auquel il est associé dans les mêmes rognons, on voit qu'elle est plus pauvre en silice, mais beaucoup plus riche en alumine; de plus, tandis que la base dominante est la magnésie, celle du pyroxène est la chaux.

Je n'ai pas recherché les alcalis dans cette amphibole du Saint-Philippe, car on en aurait nécessairement trouvé à cause du mélange intime d'un peu de mica et peut-être même de feldspath. On peut remarquer en effet des veinules microscopiques de feldspath à éclat gras *f* qui coupent certains cristaux d'amphibole transversalement comme cela est représenté sur la *fig*. 21, *Pl. X* : ces veinules font voir que la cristallisation de l'amphibole a précédé celle du feldspath et on reconnaît de même que la cristallisation du pyroxène a pré-

(1) Rammelsberg. Handwörterbuch, p. 311.

cédé celle de l'orthose. Un essai au chalumeau m'a montré du reste que le pyroxène est un peu plus réfractaire que l'amphibole qui lui est associé et que ces minéraux sont tous deux plus réfractaires que l'orthose.

Sphène. De beaux cristaux de *sphène* brun ou brun châtaigne, ayant quelquefois plus d'un centimètre, s'observent dans le gneiss ainsi que dans le calcaire ; ils sont plus nets dans les rognons intercalés dans le calcaire que dans le gneiss.

Je passe maintenant à l'étude du gisement et de l'association des différents minéraux qui viennent d'être décrits.

Rognons dans le calcaire. Le calcaire du Saint-Philippe n'est pas traversé comme celui du Chippal par des filons d'une roche granitoïde à base d'orthose, mais il renferme cependant un grand nombre de *rognons* généralement feldspathiques que je vais décrire avec détail, car on les retrouve avec les mêmes caractères dans beaucoup de calcaires saccharoïdes. Ils sont allongés et aplatis; ils forment des lits irréguliers et discontinus, qui sont généralement parallèles à la schistosité du calcaire ainsi qu'à celle du gneiss (*fig.* 13, *Pl. X*); quelquefois cependant les lits parallèles de rognons tels que *r* communiquent entre eux et sont reliés par des rognons de même nature *r'* qui sont transversaux à la schistosité. La forme et la disposition de ces rognons représentés sur la *fig.* 13 montrent qu'ils correspondent aux filons également très-irréguliers qui sont disséminés dans le gneiss. Leur épaisseur est ordinairement de plusieurs centimètres, et elle ne dépasse pas $0^m,50$; souvent elle est inférieure à $0^m,05$. Ils peuvent avoir plusieurs mètres de longueur et présenter des lits continus. Ils sont très-contournés

et ils affectent des formes bizarres, mais presque toujours allongées dans le sens de la schistosité.

Lorsqu'on étudie la composition minéralogique et la structure de ces rognons, on reconnaît qu'ils sont composés de plusieurs zones concentriques ellipsoïdales qui se succèdent dans un ordre à peu près constant, et qui sont séparées l'une de l'autre ainsi que du calcaire d'une manière très-nette. Leur structure et leur composition minéralogique.

A leur centre se trouve une substance blanche, à éclat gras, qui est compacte ou confusément cristalline. J'ai fait un essai de cette substance, et j'ai constaté au chalumeau qu'elle a la fusibilité du feldspath; après une ébullition très-prolongée avec l'acide chlorhydrique et évaporation à sec, elle m'a donné 76 p. 100 d'un résidu de matière non attaquée et de silice; il s'était dissous de l'alumine, des alcalis et seulement une trace de chaux. Cette substance qui résiste à l'acide et qui contient peu de chaux n'est pas de la paranthine, c'est un *feldspath* ou une pâte feldspathique analogue à celle qui a été nommée *Hälleflinta* par les minéralogistes suédois et qui se trouve absolument dans même gisement. Feldspath (Hälleflinta.)

Dans le centre des rognons feldspathiques, dont la structure cristalline est le plus développée, on observe quelquefois des lamelles d'*orthose* blanc-grisâtre *o* (*fig.* 15), identique à celui qui est en filons dans le gneiss et dont j'ai donné ci-dessus l'analyse : cet orthose est nettement séparé de la pyrosklérite qui l'enveloppe. Orthose.

Généralement les rognons sont formés de *mica phlogopite*, de *pyrosklérite* et de *feldspath* (*fig.* 15, 16, 17). Souvent aussi le feldspath a disparu, et ils sont formés seulement de *mica* et de *pyrosklérite* (*fig.* 14). Mica (phlogopite), Pyrosklérite.

Dans tous les rognons le mica *m* se trouve à la circonférence et il présente une surface mamelonnée, ordinairement un peu rugueuse; ses lamelles sont orientées suivant des plans qui sont à peu près perpendiculaires au plan tangent à la surface du rognon, et elles sont groupées à la manière de fibres.

Au contact du mica *m*, la pyrosklérite *p* est généralement compacte comme la serpentine; dans le centre du rognon, au contraire, elle est souvent en lamelles cristallines et nacrées.

Lorsqu'on enlève la zone de mica qui entoure un rognon de pyrosklerite, on reconnaît que l'empreinte des lamelles de mica est marquée sur la surface de ce rognon qui est luisante, extrêmement douce au toucher, et facile à rayer avec l'ongle, ce qui n'a pas lieu pour la pyrosklérite cristalline qui se trouve au centre du rognon.

Quoiqu'il y ait une ligne de démarcation bien tranchée entre les zones concentriques de mica et de pyrosklérite, des lamelles de mica se sont quelquefois développées jusque dans la pyrosklérite; il importe d'ailleurs de remarquer à ce sujet que, d'après les analyses précédentes, le mica et la pyrosklérite ont la même teneur en silice.

Lorsqu'il y a du *feldspath* dans un rognon, il est toujours au centre; de plus, il est nettement séparé de la pyrosklérite, quand c'est de l'orthose *o* (voir *fig.* 15); tandis qu'il passe insensiblement à la pyrosklérite, lorsqu'il est à éclat gras *f* (voir *fig.* 16 et 17).

J'ai constamment observé que le *feldspath* était enveloppé par une zone concentrique de *pyrosklérite*, dont l'épaisseur très-variable dans des rognons différents est aussi variable dans un même

rognon, mais est toujours la plus grande dans la direction du grand axe.

Quand les rognons ont une composition minéralogique plus complexe que les précédents, ils présentent ordinairement la structure suivante (*voir Pl. X, fig.* 16) :

t, zone d'une *espèce de chlorite* blanc verdâtre, translucide, écailleuse, douce au toucher comme le talc, auquel elle ressemble beaucoup : par calcination, cette substance devient noire, puis blanc d'argent nacré ; elle perd 4,80 p. 100 d'eau sur la lampe à alcool ; elle fond assez facilement au chalumeau ; elle se laisse attaquer par l'acide chlorhydrique, soit avant, soit après calcination, et la dissolution dans laquelle il n'y a qu'une trace d'oxyde de fer contient de l'alumine et de la magnésie. Dans l'échantillon représenté ici elle a moins de $0^m,002$ d'épaisseur : elle se sépare assez aisément de la zone de mica, et c'est peut-être pour cette raison qu'elle ne s'observe pas sur tous les échantillons. *m*, zone bien régulière de *mica* verdâtre, qui a environ $0^m,01$ d'épaisseur. *p*, zone de *pyrosklérite* qui se fond insensiblement dans le *feldspath* (hälleflinta) *f*; elle a une épaisseur variable, qui est la plus grande aux extrémités du grand axe du rognon, où elle est environ de $0^m,015$. Le feldspath *f* est blanc, à éclat gras, et il présente une masse confusément cristalline, dans laquelle il y a quelques cristaux de *sphène* brun *s*.

Le rognon qui vient d'être décrit est traversé par une fente très-nette *a a'*, qui se prolonge jusque dans la zone de mica *m*, dont elle a déplacé les lamelles, et il est extrêmement remarquable que de la pyrosklérite se soit développée de part et d'autre de cette fente *a, a'* ; il me paraît résul- Sphène.

ter de ce fait important qui s'observe fréquemment dans les rognons du Saint-Philippe et de l'étude de la structure des rognons, que la pyrosklérite *p* s'est formée postérieurement au rognon feldspathique, et qu'elle provient d'une pseudomorphose du feldspath *f*, auquel elle passe d'ailleurs d'une manière insensible.

Amphibole. Dans d'autres rognons j'ai encore observé la structure suivante (*fig.* 17, *Pl. X*) : *m*, *mica* ; *p*, *pyrosklérite* formant une zone assez mince ; *f*, *feldspath* à éclat gras, contenant des cristaux d'*amphibole* brun bronzé qui sont assez gros, mais moindres cependant que ceux des filons du gneiss, et de couleur plus claire. Entre *f* et *p*, il y a une zone verdâtre *p'* qui passe à la *pyrosklérite*, et dans laquelle il y a également des cristaux d'*amphibole* brun bronzé. Ces derniers cristaux sont plus petits que ceux qui se sont développés dans le centre *f*. Les rognons avec amphibole sont généralement rapprochés du gneiss.

Pyroxène. Le *pyroxène* est moins abondant qu'au Chippal, mais on en trouve aussi dans les rognons.

Il est fort rare de rencontrer du *quartz*, cependant il y en a accidentellement en grains ou en veinules dans le centre de quelques rognons feldspathiques.

Dans certains cas, le feldspath s'est transformé en une poudre blanche farineuse, qui est une espèce de *kaolin*, et qui s'observe au contact de la pyrosklérite ou dans le centre de certains rognons ; il est d'ailleurs remarquable que les cristaux de sphène qui étaient associés au feldspath n'aient pas été décomposés et qu'ils se retrouvent avec leurs faces bien miroitantes, soit dans le kaolin, soit dans la pyrosklérite.

Il y a quelquefois du calcaire saccharoïde dans des druses ou dans certains rognons exceptionnels; leur composition minéralogique, qu'il est facile de mettre en évidence en les traitant par un acide, est alors très-différente de celle des rognons précédents; j'en ai observé, par exemple, qui sont représentés *fig.* 18, dans lesquels la zone de *mica m* enveloppait une agglomération de cristaux octaédriques de *spinelle r;* les intervalles laissés entre ces cristaux étaient remplis par du *calcaire saccharoïde c*, qui ne formait guère qu'un dixième du rognon et dans laquelle il y avait un grand nombre de veinules de *pyrite magnétique* pénétrant jusque dans les cristaux de spinelle et un peu de *graphite* noir-grisâtre.

Dans un autre rognon la zone de mica entourait *du calcaire saccharoïde* contenant comme le précédent des veinules de *pyrite magnétique* et en outre des cristaux d'*amphibole.*

Ces rognons avec calcaire sont toutefois exceptionnels et généralement, en allant de la circonférence d'un *rognon* à son centre, les principaux minéraux qui le composent se succèdent avec une grande constance dans l'ordre suivant : *mica*, *pyrosklérite*, *feldspath* (*fig.* 15).

Au Saint-Philippe le feldspath, quelle que soit sa nature, occupe toujours le centre des rognons, et je ne l'ai pas trouvé en cristaux isolés et nets comme ceux qui sont disséminés dans les calcaires saccharoïdes de Baltimore, du Col du Bonhomme (Mont Blanc) (1), du Kaisersthul (2), ou même dans le calcaire à gryphées arquées métamor-

---

(1) Al. Brongniart Classification des roches, p. 97.
(2) Von Leonhard. Characteristik der Felsarten, p. 255.

phique de Saint-Laurent (Saône-et-Loire) (1).

Plusieurs des minéraux des rognons peuvent cependant être aussi disséminés dans le calcaire; du Saint-Philippe; c'est ce qui a lieu souvent pour le mica, et alors le calcaire dvient un *cipolin;* c'est également ce qui a lieu pour la pyrosklérite, et pour le sphène.

Quant à la pyrite magnétique, je l'ai surtout observée en petits nodules dans le calcaire et dans le mica.

Gneiss Minéraux qui le composent. Orhose, quartz, amphibole, mica.

Si maintenant nous passons à l'étude du *gneiss*, qui ne peut être séparée de celle du calcaire, nous trouvons que ce gneiss, qui est très-développé aux environs de Sainte-Marie-aux-Mines, contient généralement de l'*orthose*, du *quartz*, du *mica*, et dans certains cas de l'*amphibole hornblende*, du *grenat*, du *graphite*, etc. (2).

La variété de ce gneiss, qui est en contact avec le calcaire du Saint-Philippe, est presque entièrement formée de feldspath orthose blanc, d'amphibole brunâtre ou vert noirâtre, de grenat et de mica.

Ce mica, qui est brun tombac, devient brun rougeâtre ou rouge cuivré à la limite du gneiss et du calcaire, tandis que dans le calcaire même il est le plus souvent jaunâtre, blanchâtre ou blanc verdâtre : le mica du gneiss diffère donc de celui du calcaire en ce que sa couleur est plus foncée; il est d'ailleurs plus riche en oxyde de fer, et au contraire plus pauvre en magnésie : comme ces micas présentent des passages insensibles et sont l'un et l'autre à deux axes très-rapprochés, il me paraît vraisemblable que leur différence de couleur

(1) Communication de M. Drouot.

(2) Explication de la carte géologique, t. I, p. 309.

et de composition tiennent surtout à la différence même du gneiss et du calcaire dans lesquels ils se sont respectivement développés.

Dans la carrière actuellement en exploitation, le gneiss contient très-peu de quartz, qui peut même manquer complétement; mais dans les anciennes carrières, il y a au contraire beaucoup de quartz et peu de mica (1).

Graphite.

Le *graphite* que j'ai signalé dans le calcaire saccharoïde des Vosges se retrouve aussi très-fréquemment dans le gneiss encaissant : MM. de Billy et Carrière l'ont observé notamment dans les gneiss qui enveloppent les calcaires du Saint-Philippe et de Wisembach.

Grenat.

Il y a souvent du *grenat* dans le gneiss du Saint-Philippe, et il est en particulier très-abondant près du contact du gneiss avec le calcaire. Ce *grenat* est *rouge brunâtre*; ses cristaux quelquefois très-gros se rapportent au trapézoèdre ou au trapézoèdre avec les faces du dodécaèdre rhomboïdal. Il a trois clivages parallèles aux faces d'un cube; mais la facilité de ces clivages est très-inégale, et même l'un d'eux est à peine sensible : le grenat appartenant au système cubique, cette inégalité dans la facilité du clivage me paraît être assez bizarre.

Au chalumeau il fond assez aisément en un verre noirâtre.

Ce grenat est ordinairement entouré par une auréole blanche formée de feldspath orthose *f*, dans laquelle le mica du gneiss G ne s'est pas développé; c'est ce qui est représenté par les *fig.* 19

(1) Von Œynhausen, von Dechen, und von Laroche : Umrisse der Rheinländer.

et 20, *Pl. X*. Cette auréole s'observe non-seulement quand on a un cristal unique (*fig.* 20), mais même quand on a une agglomération *gggg* de cristaux de grenat (*fig.* 19).

Accidentellement le grenat contient quelques grains microscopiques de *fer oxydulé*; quelquefois il a une couleur verte dans certaines parties dans lesquelles j'ai même observé aussi des paillettes vertes de *chlorite*. Dans ce cas, son examen attentif m'a généralement fait voir que la couleur verte s'était surtout propagée près les bords de petites fissures qui traversaient le cristal, et par lesquelles une infiltration pouvait avoir eu lieu. Ainsi le grenat qui est représenté dans la *fig.* 20, *Pl. X*, est rouge en *r*, et vert en *v*; mais dans sa partie verte il est traversé par une fissure ressoudée *aa'* qu'on peut très-bien suivre jusque dans le gneiss, et près de laquelle quelques larges paillettes de chlorite *c* d'un beau vert se sont même développées.

Dans le grenat devenu vert, la présence de l'eau et la faible dureté me paraissent donc indiquer la première phase d'une pseudomorphose en chlorite produite par infiltration.

Dans la serpentine qui contient beaucoup de magnésie, j'ai déjà fait observer que la même pseudomorphose est souvent complète, et qu'elle est, de plus, très-générale (1) : par conséquent la pseudomorphose du grenat en chlorite est fréquente dans les roches, et elle est même d'autant plus facile que la roche est plus riche en magnésie.

On voit sur la *fig.* 12 qu'au calcaire avec rognons C succède une assise calcaire C', ayant environ 2 mètres d'épaisseur, qui contient beau-

(1) Annales des mines, 4e série, t. XVIII, p. 322.

coup de mica et de pyrosklérite disséminés et qui passe au gneiss. Ensuite viennent plusieurs assises G′ de gneiss avec grenat, hornblende et mica : la première de ces assises ayant quelques décimètres d'épaisseur et une couleur vert noirâtre est très-riche en hornblende.

Filons dans le Gneiss. Minéraux des filons. Orthose, Oligoclase. Pyroxène, Amphibole, Sphène.

L'assise G de gneiss, supérieure aux précédentes, est surtout celle qui est pénétrée dans tous les sens, et d'une manière intime, par des *filons* à contours très-irréguliers et qui se fondent souvent dans la roche; ils sont formés des minéraux que j'ai déjà décrits, savoir : l'*orthose*, l'*oligoclase*, le *pyroxène*, l'*amphibole*, le *sphène*. Ces minéraux sont généralement à cristaux plus nets que lorsqu'ils ont cristallisé dans les rognons du calcaire; l'orthose et le pyroxène sont les plus abondants.

Les filons du gneiss présentent quelquefois des espèces de rognons à la surface desquels il s'est développé de l'orthose et du pyroxène, tandis qu'à leur centre il y a une pâte feldspathique ou un feldspath blanc à éclat gras, et de l'amphibole brun foncé. Ce feldspath est spécialement associé avec l'amphibole, comme cela a lieu pour le feldspath (hälleflinta) qui est en rognons dans le calcaire. Sa composition n'est sans doute pas définie, car je n'y ai pas observé les stries caractéristiques des feldspath du sixième système; cependant, de même que dans le hälleflinta et dans les feldspaths à éclats gras en général, la soude doit en être l'alcali dominant.

On peut suivre facilement dans les rognons la transformation du *pyroxène* en *amphibole*; aussi m'a-t-il paru très-intéressant de faire des analyses comparatives de ces deux minéraux qu'il est rare

de trouver ainsi réunis dans une même roche.

Sur la route de Saint-Remy à Phaunoux, on observe encore des *filons* irréguliers enclavés dans le gneiss, qui sont même à cristaux plus grands que ceux du gneiss du Saint-Philippe; ils sont essentiellement formés d'orthose blanc, de pyroxène malacolithe vert clair, de sphène brun; l'oligoclase, l'amphibole, le mica y sont très-rares ou bien ont complétement disparu, mais il y a beaucoup de grenat rose ou rose brunâtre.

Le même grenat a également été observé par M. A. Leslin dans le Val de la petite Lièpvre, dans une variété du gneiss précédent; il n'y est cependant pas associé avec le pyroxène et avec le sphène.

Dans le Massachusetts, M. Hitchcock (1) a décrit un gneiss accompagné par une formation puissante de calcaire saccharoïde; ce gneiss, dans lequel on retrouve accidentellement le pyroxène associé au sphène, est vraisemblablement de même âge que le gneiss des Vosges.

Minéraux des druses. Albite. Actinote, asbeste, sphène.

Les cavités du gneiss du Saint-Philippe, ainsi que les druses *d* (*fig.* 22, *Pl. X*) au milieu des filons d'orthose, sont tapissées par de l'*albite* qui ne s'est d'ailleurs pas développé dans la roche elle-même; cet albite est en cristaux striés d'un blanc plus mat que celui de l'orthose qui est un peu bleuâtre. Il est accompagné d'*amphibole actinote*, d'*asbeste* blanc verdâtre, et quelquefois aussi de *sphène* d'un brun plus clair que celui qui est dans les filons.

L'amphibole des druses, qui appartient à la variété *actinote* est très-différente de l'amphibole des filons, des rognons ou du gneiss : au chalumeau elle blanchit et elle fond beaucoup plus

(1) Hitchcock. Final report of Massachusetts, p. 637.

difficilement que cette amphibole ou que le pyroxène qui l'entourent. Ses cristaux entre-croisés dans tous les sens ont des stries parallèles à leur axe longitudinal; tantôt ils sont blancs verdâtres et transparents; tantôt, au contraire, ils sont opaques et d'un beau vert d'herbe; leur couleur, leur transparence et leur grosseur sont, du reste, très-inégales.

Cette amphibole *a* (*fig.* 22) s'est développée non-seulement à l'intérieur des druses telles que *d*, mais encore à une certaine distance de sorte qu'elle forme quelquefois une auréole autour de ces druses.

On voit que les filons qui traversent le gneiss ont une composition minéralogique très-complexe, et que des minéraux qu'on est habitué à rencontrer dans des roches très-différentes s'y trouvent réunis : l'association de l'*orthose*, du *pyroxène* et du *sphène* est surtout très-remarquable : elle est spéciale au gneiss et peut-être aux trachytes ; car le *sphène* qu'on retrouve dans presque toutes les roches est plutôt seulement avec l'un ou avec l'autre de ces deux minéraux ; ainsi il est associé à l'*orthose* dans les granites et dans les *Syénites*, tandis qu'il est associé au *pyroxène* dans les dolérites et dans les basaltes.

Quant au *pyroxène*, il est généralement associé avec les feldspaths du sixième système qui sont pauvres en silice et non avec l'*orthose*, excepté lorsqu'il appartient à la variété *malacolithe*.

Enfin la grande rareté ou l'absence complète du *quartz* dans les filons, dans les rognons, ainsi que dans le gneiss qui forme le toit du calcaire, mérite encore d'être signalée.

Les rognons et les filons se sont formés simultanément dans le calcaire et dans le gneiss.

La composition minéralogique des *filons* du gneiss est assez différente de celle des *rognons* du calcaire ; de plus, tandis que les *filons* se fondent en quelque sorte dans le gneiss et le pénètrent de la manière la plus intime, les *rognons* ont au contraire leurs contours arrondis et sont séparés du calcaire d'une manière très-nette (*Pl. IX, fig.* 13). Mais il importe de remarquer que les *filons* et les *rognons* ont la plupart de leurs minéraux communs, notamment l'orthose, le feldspath à éclat gras, l'amphibole, le pyroxène, le sphène : il est donc très-vraisemblable qu'ils se sont formés simultanément et qu'ils ont la même origine.

Les différences assez notables qu'ils présentent dans leur gisement et dans leur composition minéralogique doivent être surtout attribués à la nature même de la roche encaissante, c'est-à-dire à l'influence du gneiss et du calcaire sur le développement des divers minéraux qu'on y observe. Cette influence s'est d'ailleurs exercé non-seulement au moment de la sécrétion et de la cristallisation des *filons* et des *rognons*, mais elle s'est même fait sentir dans les actions physiques et chimiques auxquelles les minéraux du gneiss et du calcaire ont été soumis postérieurement : la pyrosklérite, par exemple, paraît devoir sa formation à des phénomènes de pseudomorphose, qui ne se sont développés que par l'intervention du calcaire.

Marbre statuaire.

Le calcaire saccharoïde des Vosges qui vient d'être décrit et notamment celui du Chippal constitue, lorsqu'il est pur et homogène, un véritable marbre statuaire.

D'après des renseignements que je dois à l'obli-

geance de M. Héricart de Thury, le marbre statuaire se retrouve en France, et avec les mêmes caractères, dans un grand nombre de localités, parmi lesquelles on peut citer particulièrement Saint-Beat et Arguenos (Haute-Garonne), Loubie et Lariens (Basses-Pyrénées), Sost (Hautes-Pyrénées), La Preste (Pyrénées-Orientales), Saint-Honoré (Allier), Saint-Firmin (Isère), Saint-Maurice-en-Val-Godemar (Hautes-Alpes), etc., etc.

Comparaison du calcaire des Vosges avec divers calcaires saccharoïdes.

Ces marbres statuaires passent à des calcaires saccharoïdes qui contiennent généralement plusieurs des minéraux que je viens de décrire dans le calcaire saccharoïde des Vosges. Le graphite en particulier y est extrêmement fréquent et il paraît leur assigner une origine métamorphique; mais c'est surtout le mica riche en magnésie ou le phlogopite qui est caractéristique pour le calcaire saccharoïde; on le trouve même dans le marbre statuaire et en particulier dans celui du Pentélique. De Saussure et M. Studer signalent ce mica dans le plus grand nombre des calcaires saccharoïdes des Alpes, dans ceux du Mont-Cenis, du Petit-Saint-Bernard, du Mont-Rose, du Pic-Blanc, etc. (1); M. de Charpentier, dans les calcaires saccharoïdes enclavés dans le granite ou dans le gneiss des Pyrénées. M. de Holger (2) l'a observé dans le calcaire bleuâtre et schistoïde de la Basse-Autriche; MM. Naumann et Cotta, dans le calcaire saccharoïde de la Saxe, notamment dans celui de Crottendorff (3) et des envi-

(1) De Saussure. Voyage dans les Alpes, t. IV, p. 355 et suiv.— Studer. Geologie der Schweiz, t. I, p. 380, etc.
(2) Von Holger. Zeitschrift fur Physik, t. VII, p. 13.
(3) Neumann und Cotta. Geognostische Beschreibung des Konigreiches Sachsen, t. II, p. 108.

rons d'Altenberg; enfin MM. de Leonhard (1), Al. Brongniart (2) le mentionnent dans le Kaisersthul, dans la Bohême, dans l'île d'Eubée et dans les îles de la Grèce; MM. Boué, Macculloch et Necker de Saussure (3) dans l'Ecosse.

Il y en a également dans les calcaires saccharoïdes de Suède, de Norwège, de Finlande.

Il y en a surtout dans les calcaires saccharoïdes des États-Unis d'Amérique, du Massachusetts, du New-Jersey, et particulièrement dans un grand nombre de ceux de l'État de New-York, etc.

Beaucoup des calcaires qui viennent d'être mentionnés contiennent aussi de la pyrosklérite; de plus, aux Etats-Unis, en Ecosse, en Scandinavie et notamment dans les gîtes célèbres de Sala, d'Aker (4), on retrouve tous les autres minéraux que j'ai signalés dans le calcaire saccharoïde des Vosges.

M. Silliman Jr. (5) a constaté que le gisement du phlogopite en Amérique est presque constamment le calcaire et accidentellement la dolomie. En Europe ce gisement est aussi le même; dans les Vosges cependant le calcaire dans lequel on trouve le phlogopite et les autres minéraux à base de magnésie n'est jamais de la dolomie; il ne contient même que peu de magnésie et quelquefois il n'en contient pas en quantité sensible à l'analyse, comme

(1) Von Leonhard. Charakteristik der Felsarten, p. 252.

(2) Al. Brongniart. Classification des roches, p. 95.

(3) Boué. Essai sur l'Ecosse. — Necker de Saussure Voyage en Ecosse.

(4) Durocher. Annales des mines, 4e série, t. XV, p. 181.

(5) Silliman Jr. American Journal, novembre 1850, p. 379-382.

cela a lieu pour le calcaire du Chippal. J'ajouterai que la dolomie dans le gneiss de Mandray ne renferme aucun des minéraux à base de magnésie que j'ai signalés dans le calcaire du gneiss; d'après des renseignements que je dois à M. Carrière, cette dolomie forme d'ailleurs un filon dans le gneiss et par conséquent il n'est pas étonnant qu'elle n'ait aucun des caractères minéralogiques du calcaire saccharoïde dont l'origine est différente et auquel elle doit être postérieure.

Il importe cependant de remarquer que si la teneur en magnésie d'un calcaire saccharoïde est généralement indépendante de la quantité des divers minéraux à base de magnésie qui se sont développés dans ce calcaire lorsqu'il a pris sa structure saccharoïde, il est vraisemblable que cette *teneur en* magnésie, suivant qu'elle était plus ou *moins* grande, a influé sur la quantité des minéraux qui, comme la pyrosklérite, ont dû se développer ultérieurement et par voie de pseudomorphose.

Le calcaire saccharoïde du gneiss des Vosges s'observe au Chippal, à Laveline, à Gemaingoutte, à Wisembach, à Sainte-Marie, à Sainte-Croix-aux-Mines. Il est toujours complétement enveloppé par le gneiss dans lequel il forme des lambeaux irréguliers ou lenticulaires, tels que ceux qui ont été signalés, dans la Scandinavie, par MM. Schéerer et Keilhau; il doit donc être considéré comme contemporain de ce gneiss dans lequel il est enclavé. Gisement du calcaire saccharoïde des Vosges.

Il ne passe d'ailleurs pas à un calcaire stratifié et fossilifère en sorte qu'il est difficile de déterminer son âge d'une manière absolue. Il résulte en effet d'observations précises faites par Age.

divers géologues (1), que les calcaires saccharoïdes offrent un exemple remarquable de roches qui, ayant les mêmes caractères minéralogiques et présentant les mêmes associations de minéraux, peuvent avoir des âges très-différents. Les calcaires saccharoïdes que j'ai énumérés sont donc loin d'avoir le même âge; je pense toutefois que le calcaire saccharoïde des Vosges est de même âge que les calcaires saccharoïdes des Etats-Unis, de l'Ecosse, de la Scandinavie, qui sont comme lui enclavés dans le gneiss et qui présentent les mêmes caractères minéralogiques ainsi que les mêmes associations de minéraux; en effet ils contiennent non-seulement du graphite, comme cela a lieu généralement pour le calcaire saccharoïde, mais encore du mica phlogopite, de la pyrosklérite, du spinelle, de la condrodite, de la pyrite magnétique, ainsi que de l'orthose, du pyroxène, de l'amphibole, du sphène, du grenat, c'est-à-dire les principaux minéraux que j'ai signalés soit dans le calcaire saccharoïde, soit dans le gneiss des Vosges et notamment au Saint-Philippe.

Il importe d'observer en outre que ces minéraux dont plusieurs se sont formés simultanément dans le calcaire et dans le gneiss ne sont pas associés dans les Vosges à des minerais métalliques; par conséquent, les phénomènes géologiques qui les ont développés sont indépendants de ceux qui, dans certaines contrées et en particulier dans la Scandinavie, ont produit dans les mêmes roches des minerais métalliques.

---

(1) Dufrénoy. Bulletin de la Société géologique, t. VII, p. 178, etc.

MÉMOIRE

Sur des formules nouvelles pour la solution des problèmes relatifs aux eaux courantes;

Par M. DE SAINT-VENANT.

CHAPITRE PREMIER.

COMMENT ON PEUT RÉDUIRE A UN SEUL TERME L'EXPRESSION EMPIRIQUE DE LA RÉSISTANCE DES PAROIS DES CANAUX OU DES TUYAUX DE CONDUITE, EN FONCTION DE LA VITESSE MOYENNE DE L'EAU QUI Y COULE.

1. *Altération que l'on fait souvent subir à la formule de Prony.*

Dans les applications pratiques variées que l'on est dans le cas de faire de l'équation du mouvement uniforme des eaux dans les canaux découverts ou dans les tuyaux, due à Prony :

$$(1)\qquad \frac{\omega}{\chi}I \quad \text{ou} \quad RI = aU + bU^2$$

(où I est la *pente par mètre*, U la vitesse moyenne, R le quotient de la section transversale constante ω par son périmètre mouillé χ, a et b deux nombres), on éprouve souvent une grande gêne, tenant à ce que le second membre, qui représente empiriquement la petite hauteur du prisme fluide dont

le poids donne l'intensité du frottement sur une surface de parois égale à celle de sa base (*), se trouve composé de deux termes, et de ce que, par suite, la valeur de U que l'on en tire contient un radical recouvrant un binôme, avec un terme numérique hors du radical.

Aussi, et surtout pour certains problèmes implicites où l'on ne pourrait suppléer à la formule par des tables numériques sans être entraîné dans des tâtonnements réitérés (**), presque tous les hydrauliciens prennent le parti d'effacer le premier terme aU (***) et d'écrire :

(*) En effet, soient h cette petite hauteur, Π le poids de l'unité du volume du fluide, on a Πh pour le frottement de l'unité superficielle des parois, et $\Pi h . L\chi$ pour la force retardatrice d'une portion du courant d'eau d'une longueur L. Comme elle doit, pour l'uniformité du mouvement, être égale à la force accélératrice provenant du poids décomposé $\Pi . L\omega . I$, on a bien $\frac{\omega}{\chi} I = h$.

(**) Voyez au chap. 4 ci-après, art. 22 à 40.

(***) Prony, Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes, art. 186. — Genieys, Essai sur l'art de conduire les eaux, etc. — D'Aubuisson, Traité d'hydraulique à l'usage des ingénieurs, n°s 115, 187. — M. Nadault de Buffon, Traité des irrigations, t. II, p. 220; citation d'une formule employée par des hydrauliciens italiens. — M. Eytelwein, Recherches sur le mouvement de l'eau, etc. Académie de Berlin, 1814 et 1815. Traduit et inséré aux Annales des mines, t. XI, 1825, §§ XII et XV. — M. Dupuit, Etudes sur le mouvement des eaux courantes, 1848, n°s 54, 56, 59, etc. — M. Courtois, Traité des moteurs, 2e partie ou t. II, moteurs inanimés, 1850, art. 99, etc. Cet auteur atténue, comme M. Eytelwein, l'inexactitude due à la suppression du premier terme en donnant au coefficient b du second une valeur nouvelle. Presque tout son livre est fondé sur cette réduction de la formule à la forme (2), qu'il ne croit pas empirique.

(2) $$RI = bU^2,$$

ce qui diminue pourtant d'une manière sensible la valeur du produit RI; car, par exemple, pour U égal à un demi-mètre, cette valeur se trouve ainsi réduite de plus d'un cinquième dans les canaux découverts, et d'environ un dixième dans les tuyaux de conduite d'après les grandeurs que Prony attribue aux coefficients a et b pour ces deux cas.

2. *Autre formule.*

Il m'a paru depuis longtemps, et j'ai avancé en 1843 dans un mémoire (*), qu'il y avait un moyen facile d'atteindre le même but, ou de donner une forme monôme à l'expression, soit de RI en U, soit de U en RI, sans altérer ainsi leurs valeurs.

C'est d'affecter la vitesse U, dans l'expression de RI, d'un exposant fractionnaire intermédiaire entre 2 et 1, c'est-à-dire de poser

(3) $$RI = cU^m,$$

m étant un peu au-dessous de 2.

Pour déterminer les valeurs de l'exposant m et du coefficient c, les plus propres à représenter les expériences, en compensant autant que possible leurs anomalies, on pourrait, comme a fait Prony pour les coefficients a et b de sa formule binôme, construire sur une feuille de dessin la suite des points ayant pour abscisses les valeurs observées

(*) Sur un mode d'interpolation applicable aux questions relatives au mouvement des eaux et suppléant à l'intégration souvent impossible des équations aux dérivées partielles. (Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, t. XVII, p. 1108; à l'art. 9, p. 1114.)

de U, et pour ordonnées les valeurs correspondantes soit de RI, soit de $\frac{RI}{U}$, puis chercher par tâtonnement quelle est la parabole de degré fractionnaire qui se rapproche le plus de ces points.

Mais la recherche peut être réduite à celle d'une ligne droite, déterminable par le calcul au moyen de méthodes connues, si l'on prend les logarithmes des deux membres de $RI = cU^m$. On obtient en effet l'équation

$$(4) \qquad \log(RI) = \log c + m \log U,$$

qui donne bien une ligne droite pour la suite des points dont les abscisses et les ordonnées sont les valeurs de log U et de log (RI) qui y satisfont.

Les erreurs inséparables des observations s'opposent à ce que les points déterminés par les valeurs de ces deux logarithmes fournies par les expériences soient exactement en ligne droite, même en admettant que les équations (3) et (4) expriment bien la vraie loi du phénomène. Mais on remarque (*), d'après la direction générale et sensiblement rectiligne de la zone comprenant l'ensemble des points construits de cette manière, que l'on peut tracer diverses droites s'écartant moins d'eux qu'ils ne s'écartent les uns des autres, lorsque l'on considère ceux répondant à des abscisses ou à des ordonnées à peu près égales pour plusieurs expériences. Les distances entre les points et chaque droite, mesurées dans le sens des coordonnées, sont donc comprises dans les limites des erreurs des observations, et l'on peut

---

(*) Voyez *Pl. XI*, *fig.* 1 et 3.

les regarder comme représentant plus ou moins bien la loi inconnue.

On conçoit que parmi ces droites il y en a une qui est préférable à toute autre, sous le rapport de sa *proximité* des divers points et de la correction *mutuelle* qu'elle fait des erreurs probables des observations qui les ont données. Si l'on parvient à la construire, la tangente de l'angle qu'elle fait avec l'axe des *log* U donnera la valeur à prendre pour l'exposant m, et son ordonnée répondant à l'abscisse log U=o donnera la valeur à attribuer au logarithme du coefficient cherché c.

3. *Méthodes de représentation et de correction d'anomalies; ce qui arrive lorsqu'on prend d'abord les logarithmes.*

Les géomètres ont imaginé diverses manières de *définir* mathématiquement une pareille droite, ou diverses méthodes de détermination numérique des coefficients p et m de son équation, de la forme de (4) :

$$(5) \qquad y=p+mx,$$

pour qu'elle exprime le plus probablement et le plus approximativement la loi d'un phénomène dont l'observation plus ou moins exacte, plus ou moins affectée d'erreurs inconnues, a fourni un nombre quelconque, plus grand que 2, de valeurs de x, et de valeurs correspondantes de y.

Avant de faire usage de ces méthodes pour notre question, il est nécessaire d'en montrer l'esprit général, et d'apprécier surtout l'influence que peut avoir leur application, faite non pas aux nombres mêmes fournis directement par l'expérience, mais *aux logarithmes de ces nombres*.

Pour cela, supposons généralement qu'il faille représenter par une ligne quelconque, droite ou courbe ou par son équation

$$(6) \qquad y = f(x),$$

dont la forme est connue, et les paramètres à trouver, la loi du phénomène pour lequel il a été fait un nombre n d'expériences ayant fourni une suite de valeur de la variable x

$$x_1 \ x_2 \ x_3 \ldots\ldots x_n$$

et de valeurs correspondantes de celle y

$$y_1 \ y_2 \ y_3 \ldots\ldots y_n,$$

ou ayant fourni, si l'on veut, n points construits avec les coordonnées x_1 et y_1, x_2 et y_2.... et dont chacun exprime ainsi, graphiquement une expérience.

Si en écrivant ainsi

$$(7) \qquad y - f(x) = 0,$$

l'équation (6), dont nous supposons pour un moment que les paramètres sont déjà déterminés, on met successivement pour x et y, dans son premier membre, les valeurs particulières données par les expériences, les résultats qu'on obtient :

$$(8) \quad y_1 - f(x_1), \quad y_2 - f(x_2) \ldots\ldots y_n - f(x_n)$$

ne sont pas exactement égaux à zéro, pour trois raisons : 1° l'erreur de l'observation sur l'y; 2° l'erreur de l'observation sur l'x; 3° l'erreur même de la forme de la fonction $f(x)$, qui n'exprime généralement qu'*à peu près* la loi inconnue du phénomène.

Nous appelons *écarts sur y* les valeurs, posi-

tives ou négatives, de ces résultats $y_1 - f(x_1)$, etc., des substitutions, ou les erreurs que l'on commettrait en posant les équations incorrectes $y_1 - f(x_1) = 0$, $y_2 - (x_2)f = 0$, etc.

Ces écarts sont, comme l'on voit, les différences entre chaque valeur de y *observée* et la valeur *calculée* par la formule $y = f(x)$, pour l'x *observé* correspondant. Chaque écart est ainsi l'excès de l'ordonnée de l'un des points $(x_1 y_1)$, $(x_2 y_2)$... sur l'ordonnée de la ligne $y = f(x)$, ayant même abscisse x. C'est, si l'on veut, la distance de chaque point à la ligne, en mesurant cette distance parallèlement aux ordonnées. Il ne faut pas confondre cet écart avec l'*erreur d'observation sur y*, comme on le fait quelquefois, dans des questions, il est vrai, qui appartiennent à la physique *céleste*, et où il n'y a guère d'erreur, ni sur l'observation de la variable principale x, qui est alors le temps, ni sur la forme de la fonction $f(x)$.

Supposons maintenant que pour rendre plus facile la détermination des paramètres on prenne les logarithmes des deux membres de l'équation (6), ou qu'on la remplace par

$$(9) \qquad \log y = \log f(x).$$

Appelons ε_1, ε_2... les écarts sur y, et prenons aussi les logarithmes des deux membres des égalités

$$(10) \qquad y_1 - \varepsilon_1 = f(x_1), \quad y_2 - \varepsilon_2 = f(x_2), \quad \text{etc.}$$

Comme ε_1 est supposé très-petit par rapport à y_1 on a, en considérant $-\varepsilon_1$ comme une différentielle de y_1, et en supposant un moment que les logarithmes sont hyperboliques,

$$\log (y_1 - \varepsilon_1) = \log y_1 + \frac{-\varepsilon_1}{y_1}.$$

On a donc, en faisant de même pour les autres équations (10), ces n égalités :

$$\log y_1 - \log f(x_1) = \frac{\varepsilon_1}{y_1}, \quad \log y_2 - \log f(x_2) = \frac{\varepsilon_2}{y_2}, \quad \text{etc.}$$

Les premiers membres sont les écarts sur $\log y$. Ils sont égaux, comme l'on voit, à $\frac{\varepsilon_1}{y_1}$, $\frac{\varepsilon_2}{y_2}$ ... c'est-à-dire aux *écarts sur* y *divisés par les valeurs correspondantes de* y *fournies par les expériences*.

L'esprit des méthodes de calcul des paramètres inconnus d'équations dont la forme seule est donnée, est d'atténuer le plus possible les *écarts* en les corrigeant et les compensant les uns par les autres, comme nous verrons à l'article suivant.

Appliquées à des équations logarithmiques telles que $\log y = \log f(x)$, ces méthodes atténueront donc ou compenseront *les quotients* $\frac{\varepsilon}{y}$ *des écarts sur les variables* y *par les valeurs observées de ces variables*, c'est-à-dire atténueront et compenseront ce qu'on appelle les *écarts proportionnels* sur les y.

Or c'est là un but désirable suivant les auteurs qui ont traité la question des eaux courantes. Prony observe (*) qu'une anomalie 0,1 sur 1 donne lieu à une erreur dix fois plus grande que la même anomalie 0,1 sur 10, et que ce sont les *différences proportionnelles* entre les nombres observés et les nombres calculés qu'il est impor-

(*) Recherches physico-mathématiques, art. 169 et 170.

tant d'atténuer, plutôt que les différences absolues.

M. Eytelwein exprime la même opinion (*), et l'on verra, à une note de l'article suivant, à quel expédient singulier il a recours pour atteindre partiellement ce but.

Nous pouvons donc hardiment appliquer les méthodes de détermination des paramètres à l'équation (4) de l'art. 2, obtenue en prenant les logarithmes des deux membres de celle (3) $RI=cU^n$, que nous voulons établir, au lieu d'opérer directement sur celle-ci.

Nous allons rappeler maintenant en quoi consistent les trois principales de ces méthodes, qui sont celle de Laplace, celle de Legendre et celle de M. Cauchy. Nous supposerons que l'équation dont il faut déterminer les paramètres p et m est

$$y=p+mx,$$

y représentant soit une quantité observée, *soit son logarithme*, et x une autre quantité observée, ou une fonction quelconque de cette quantité.

4. *Méthode de Laplace.*

La première méthode que nous considérerons sera celle de Laplace. Elle consiste à imposer pour condition aux deux coefficients cherchés p et m, *de rendre nulle la somme algébrique des écarts* y_1-p-mx_1, y_2-p-mx_2, etc., et *de rendre un minimum leur somme arithmétique;* en sorte que la somme des écarts en plus égale la somme des écarts en moins, et que chacune de ces deux

(*) Recherches sur le mouvement de l'eau (déjà cité), § 1. Annales des mines, t. XI, p. 458.

sommes numériquement égales soit la plus petite possible (*).

Toute droite passant par le centre de gravité des points $(x_1 y_1)$, $(x_2 y_2)$... *remplit la première de ces deux conditions*; car si l'on désigne par le signe Σ la somme des quantités de même nom, déduites des n observations, cette condition est exprimée par l'égalité

$$\Sigma(y-p-mx)=0,$$

ou, ce qui revient au même, par

$$\frac{1}{n}\Sigma y = p + m.\frac{1}{n}\Sigma x, \qquad (11)$$

(*) Mécanique céleste, 1re part., liv. 3, art. 40; et Recherches physico-mathématiques de Prony, introduction, p. XVIII.

La méthode dont nous parlons est la *seconde* des deux que donne Laplace à propos de la détermination de la figure de la terre. Nous écartons, à dessein, une première méthode qu'il donne au numéro précédent de la Mécanique céleste, et qu'il reproduit, en la préconisant, à la Théorie analytique des probabilités (liv. 2, chap. 3, n° 24). Elle consiste à *atténuer le plus possible le plus grand écart.* M. de Prony, qui l'a employée sans trop s'y arrêter (Introduction, p. XVIII), montre qu'elle se réduit géométriquement à circonscrire les n points $(x_1 y_1)$, $(x_2 y_2)$... par les deux droites parallèles les moins éloignées l'une de l'autre, et à prendre, pour la droite cherchée, celle qui est également distante de toutes deux; ce qui rend égaux entre eux, au signe près, les trois plus grands écarts.

Cette méthode, que Fourier a traitée aussi en y appliquant la théorie des inégalités (Mémoires de l'Institut, partie historique, t. VI) peut très-bien convenir dans des questions d'un autre genre que la nôtre; par exemple, lorsqu'il s'agit de remplacer, entre certaines limites, l'expression certainement exacte, mais compliquée d'une fonction, par une expression certainement inexacte, mais plus simple et suffisamment approchée pour les applica-

qui montre bien que le centre de gravité, dont les coordonnées sont

$$\frac{1}{n}\Sigma x, \quad \frac{1}{n}\Sigma y,$$

se trouve sur la droite $y = p + mx$.

Si maintenant l'on transporte à ce centre l'origine des coordonnées, et si l'on appelle ξ et η les deux coordonnées nouvelles, ou si l'on fait

$$(12) \qquad \xi = x - \frac{1}{n}\Sigma x, \quad \eta = y - \frac{1}{n}\Sigma y$$

l'équation de la droite, en en retranchant celle (11) pour éliminer p, devient

$$(13) \qquad \eta = m\xi.$$

On prouve facilement que l'on satisfait à la *seconde condition* de Laplace en rangeant les

---

tions. M. Poncelet en a fait un usage élégant et fort utile en mécanique pour remplacer approximativement un radical $\sqrt{u^2 + v^2}$ par une expression rationnelle $\alpha u + \beta v$ ne s'écartant pas de plus de 1/6 de sa valeur, quand u et v ont un rapport quelconque, et de 1/25 quand on sait que $u > v$. C'est une opération du même genre que si l'on remplaçait un arc de cercle par une droite parallèle à sa corde, menée par le milieu de sa flèche.

Mais ici notre but est en quelque sorte inverse. Nous voulons, de données inexactes, déduire le résultat le plus exact possible par la compensation de leurs erreurs. La méthode Laplace dont nous parlons ici ne tire ce résultat que des données qui s'en écartent le plus et qui sont fournies par les trois expériences les plus anormales, les moins d'accord avec l'ensemble des autres, c'est-à-dire par les expériences probablement les plus mal faites, et qu'ordinairement il conviendrait de rejeter au lieu de s'en servir à l'exclusion des autres. Elle ne saurait donc nous convenir.

nouvelles abscisses ξ des points, fournies par les expériences, suivant l'ordre de grandeur des quotients $\frac{\eta}{\xi}$ décroissant depuis $+\infty$ jusqu'à $-\infty$, et puis, en prenant, si $\xi', \xi'' \ldots \xi^{(r-1)}, \xi^{(r)} \ldots . \xi^{(n)}$ sont les grandeurs des abscisses ainsi rangées :

$$b = \frac{\eta^{(r)}}{\xi^{(r)}},$$

$\frac{\eta^{(r)}}{\xi^{(r)}}$ étant le rapport $\frac{\eta}{\xi}$ correspondant à l'abscisse $\xi^{(r)}$ pour laquelle on a

$$\xi' + \xi'' + \ldots + \xi^{(r-1)} < \xi^{(r)} + \ldots + \xi^{(n)},$$

et

$$\xi' + \xi'' + \ldots + \xi^{(r)} > \xi^{(r-1)} + \ldots + \xi^{(n)},$$

c'est-à-dire à l'abscisse $\xi^{(r)}$ dont la valeur absolue, ajoutée à la somme $\xi' + \ldots + \xi^{(r-1)}$ de celles des abscisses précédentes, la fait dépasser la moitié de la somme totale $\xi' + \xi'' + \ldots + \xi^{(n)}$ des valeurs absolues des abscisses.

C'est cette méthode, appliquée à $\frac{\mathrm{RI}}{\mathrm{U}} = a + b\mathrm{U}$, qui a fourni à Prony et à M. Eytelwein les valeurs des coefficients a et b de leurs formules binômes (*).

(*) Pour mieux dire, elle a donné à Prony, en l'appliquant aux trente et une expériences dont il a fait usage pour les canaux :

$$a = 0{,}0000400\,25, \quad b = 0{,}0003\,129.$$

Et en l'appliquant aux cinquante et une expériences des tuyaux :

$$a = 0{,}000020\,709, \quad b = 0{,}00055\,369.$$

Recherches, introduction, p. xxvj et xxvij ; g étant

$= 9{,}809$). Mais, au lieu de ces quatre nombres, il a adopté ceux 0,0000444499 ; 0,0003093314 ; 0,0000173314 et 0,0003482590, à la suite de considérations et de l'emploi de divers moyens dont il ne donne pas le détail, et qui portent principalement, dit-il (Recherches, introduction, p. XXXI), *sur la nécessité de rendre en général les valeurs absolues des anomalies d'autant moindres que les vitesses elles-mêmes étaient plus petites* (c'est-à-dire de compenser les erreurs *proportionnelles*), et sur la plus grande réduction dont pouvaient être susceptibles les anomalies des expériences qu'il savait, par des renseignements particuliers, mériter plus de confiance que les autres.

Quant à M. Eytelwein, au lieu d'altérer finalement les résultats numériques fournis par la méthode Laplace, il altère cette méthode elle-même en faisant passer la ligne droite représentée par $\frac{RI}{U} = a + bU$, non pas par le centre *de gravité* général des points dont les abcisses sont U et les ordonnées $\frac{RI}{U}$, mais par le centre de gravité de ceux fournis par quelques-unes des expériences où les vitesses ont été les plus petites. Il prend pour cela (Mémoire cité, § X, p. 458 et § XIV, p. 451) les *dix premières* des quatre-vingt-dix-neuf expériences relatives aux canaux, et les *deux premières* seulement des cinquante et une expériences relatives aux tuyaux. Il en donne pour raison qu'il convient de faire en sorte *que les déviations* (ou écarts) *de la vitesse calculée ne soient qu'une très-petite partie de la vitesse observée.*

Il me semble que ce privilége qu'il accorde à un très-petit nombre d'expériences où les vitesses ont été les moindres n'atteint point d'une manière rationnelle son but qui est, comme l'on voit, d'atténuer les *écarts proportionnels* au lieu des écarts absolus. Il conviendrait plutôt, si l'on veut atténuer les écarts proportionnels sur RI, ou les valeurs diverses que prend le quotient $\frac{RI - aU - bU^2}{RI}$ pour les valeurs de RI et U données par

les expériences, d'appliquer la méthode Laplace, ***sans altération***, à l'équation

$$(a) \qquad 1 = a\frac{U}{RI} + b\frac{U^2}{RI}.$$

M. Belanger a proposé dans son cours lithographié d'hydraulique à l'École centrale, nº 52, quelque chose de semblable pour la formule des tuyaux, en employant la méthode des moindres carrés.

Si ce sont les écarts proportionnels sur U que l'on veut atténuer et compenser (voyez art. 9), on a, en appelant ε_1, ε_2, les écarts absolus :

$$R_1I_1 = a(U_1 - \varepsilon_1) + b(U_1 - \varepsilon_1)^2, \quad R_2I_2 = \text{etc.}$$

Développant la première de ces équations, négligeant le carré de ε_1, et divisant par $U_1\left(\frac{a}{2b} + U_1\right)$, elle prend la forme

$$(b) \qquad \frac{R_1I_1}{U_1\left(U_1 + \frac{a}{2b}\right)} - \frac{a}{U_1 + \frac{a}{2b}} - \frac{bU_1}{U_1 + \frac{a}{2b}} = -\frac{\varepsilon_1}{U_1}.$$

$\frac{a}{2b}$ peut être négligé devant U_1 pour presque toutes les expériences faites, car en prenant pour première approximation les valeurs de a et de b de M. Eytelwein, on a $\frac{a}{2b} = 0^m{,}066$. Le premier membre de cette égalité se réduit donc à $\frac{R_1I_1}{U_1^2} - b - a\frac{1}{U_1}$. D'où il suit que pour déterminer a et b par la méthode Laplace, de manière à atténuer les ***écarts proportionnels*** sur U, qui sont $\frac{\varepsilon_1}{U_1}$, $\frac{\varepsilon_2}{U_2}$... il faudrait appliquer cette méthode, non plus à $\frac{RI}{U} = a + bU$, comme a fait Prony, ce qui atténue plutôt les ***écarts absolus*** ε_1 ε_2...., mais à

$$(c) \qquad \frac{RI}{U^2} = b + a\frac{1}{U}.$$

5. *Méthode de Legendre.*

La seconde méthode dont nous nous servirons est celle de Legendre, dite des moindres carrés (*), trouvée en même temps par M. Gauss (**), et consistant, comme l'on sait, à rendre un minimum la somme $\Sigma(y-p-mx)^2$ des carrés des écarts.

Quand $p=0$, ou quand l'équation se réduit à $y=mx$, elle donne, en égalant à zéro la différentielle de $\Sigma(y-mx)^2$ par rapport à m :

$$m=\frac{\Sigma xy}{\Sigma x^2}.$$

Lorsque le second membre est complet $=p+mx$, des différentiations analogues par rapport à p et à m donnent, pour éliminer p :

$$p=\frac{1}{n}\Sigma y-m.\frac{1}{n}\Sigma x,$$

et, pour déterminer m, une expression qui, en faisant comme précédemment

$$\xi=x-\frac{1}{n}\Sigma x,\quad \eta=y-\frac{1}{n}\Sigma y,$$

revient à

$$(14)\qquad m=\frac{\Sigma\xi\eta}{\Sigma\xi^2}.$$

En sorte que, comme par la méthode Laplace, la droite cherchée passe par le centre de gravité

(*) Nouvelles méthodes pour déterminer les orbites des comètes.

(**) Laplace, Probabilités, ch. IV, art. 24, et 1er supplément.

de tous les points $(x_1 y_1)$, $(x_2 y_2)$...., et, de plus, la tangente de l'angle qu'elle forme avec l'axe des x est la même que si, après avoir transporté l'origine à ce centre, on traitait l'équation

$$\eta = m\xi,$$

qui en résulte, par la même méthode des moindres carrés, comme nous venons de faire de celle $y = mx$.

On sait que Laplace, en comparant entre elles, par le calcul des probabilités, les valeurs du coefficient m susceptibles d'être tirées des diverses combinaisons *linéaires* des équations particulières $y_1 - mx_1 = 0$, $y_2 - mx_2 = 0$.... vraies seulement à cela près des écarts sur y, a trouvé que la valeur $m = \frac{\Sigma xy}{\Sigma x^2}$ satisfaisant au minimum de $\Sigma(y - mx)^2$ était celle qui se trouvait affectée de *la moindre erreur moyenne à craindre*, en appelant ainsi la somme des erreurs possibles provenant des écarts sur y, multipliées respectivement par les probabilités de les commettre.

Aussi cette méthode, applicable du reste à un nombre quelconque de coefficients, est-elle préconisée comme la meilleure, et employée jusqu'à l'abus et d'une manière aveugle et sans discernement par certains astronomes ou physiciens, en Allemagne surtout. Ils ne font pas attention que l'analyse justificatrice de Laplace repose sur quelques suppositions qui ne se réalisent jamais exactement.

Prony se proposait de l'employer dans une nouvelle édition de ses Recherches sur les eaux courantes. Nous l'emploierons également, mais sans négliger d'employer comparativement les deux autres.

6. *Méthode de M. Cauchy. A quoi elle revient géométriquement.*

Enfin M. Cauchy a donné une troisième méthode (*) simple, très-expéditive, qui a été adoptée d'autant plus volontiers par les astronomes et les physiciens, qu'applicable comme celle de Legendre à un nombre quelconque de termes d'une expression $pf(x)+m\varphi(x)+q\psi(x)+$ etc., de y; elle indique d'elle-même le moment où il convient de cesser d'en ajouter pour représenter l'ensemble des expériences sans arriver à représenter jusqu'à leurs anomalies.

Elle consiste, dans le cas particulier de notre équation $y=p+mx$, à éliminer d'abord (comme dans les deux autres méthodes dont nous venons de parler) le terme constant p au moyen de l'équation-somme

$$\Sigma y = np + m\Sigma x$$

résultant de ce qu'on suppose nulle la somme algébrique des écarts, puis à appliquer à l'équation provenant de cette élimination et qui est, en faisant toujours $x-\frac{\Sigma x}{u}=\xi$, $y-\frac{\Sigma y}{u}=\eta$:

$$\eta = m\xi,$$

le procédé ancien de Côtes, suivi surtout depuis Tobie Mayer, pour la détermination du coefficient m entrant dans une équation de cette dernière forme.

Ce procédé consiste à égaler à zéro la somme

(*) Sur l'interpolation; mémoire lithographié en 1835, imprimé depuis au Journal de mathématiques de M. Liouville, mai 1837.

des écarts $\eta - m\xi$ résultant des valeurs particulières de η et ξ dues aux expériences, mais *en prenant avec un signe contraire les écarts qui répondent aux valeurs de ξ négatives.*

On tire de l'équation qui en résulte une expression :

$$(15) \qquad m = \frac{S\eta}{S_{+}\xi}.$$

Le S_{+} du dénominateur désignant la somme arithmétique des valeurs de $\xi = x - \frac{\Sigma x}{n}$ prises toutes positivement, et le S du numérateur la somme algébrique des valeurs de $\eta = y - \frac{\Sigma y}{n}$ prises avec leur signe ou avec un signe contraire selon que le ξ correspondant est positif ou négatif.

Il ne faut pas, bien entendu, confondre les sommes S, que M. Yvon Villarceau a proposé d'appeler *sommes subordonnées* (*), avec les sommes Σ des valeurs des quantités η et ξ prises chacune avec son propre signe. Ces sommes Σ sont, ici, nulles et donneraient $\frac{0}{0}$ pour m.

Il est bien évident que la valeur (15) de m est celle qui produit la compensation mutuelle des *écarts sur la valeur absolue de* ξ, c'est-à-dire des petits nombres à retrancher des ξ, pris tous positivement, pour rendre exactes les n équations particulières résultant de la substitution de $x_1 y_1$, $x_2 y_2$... pour x et y dans $\eta = m\xi$; car si ε représente ces petits nombres positifs ou négatifs, et $\Sigma\varepsilon$ leur somme

(*) Mémoire sur les étoiles doubles (inséré à la Connaissance des temps pour 1852).

algébrique, on a exactement $S\eta = m(S_+\xi - \Sigma\varepsilon)$, d'où $\Sigma\varepsilon = 0$ si l'on prend $m = \frac{S\eta}{S_+\xi}$. M. Cauchy a prouvé aussi que de toutes les valeurs de m que l'on peut tirer d'une combinaison linéaire de ces n équations inexactes, ajoutées après avoir été multipliées par des facteurs quelconques indépendants de ce nombre cherché m, la valeur (15) est celle pour laquelle *la plus grande influence à craindre* des écarts $\eta - m\xi$ ou des inexactitudes de ces mêmes équations, dans le cas le plus défavorable, est la moindre possible.

Il est facile de voir que, géométriquement, cette méthode revient à partager nos points (x, y) (x, y) ... en deux groupes, séparés par l'axe des abscisses x, *et à prendre, pour la droite cherchée* $y = p + mx$, *celle qui joint les centres de gravité de ces deux groupes, et qui passe nécessairement aussi par le centre de gravité général des points* (*).

(*) En effet, si $\Sigma'\xi$ représente la somme de tous les ξ négatifs que nous supposerons en nombre n', $\Sigma'\eta$ celle des η correspondants, $\Sigma''\xi$ celle des ξ positifs, supposés en nombre n'', $\Sigma''\eta$ celle des η correspondants, la tangente de l'angle formé avec l'axe des ξ par la ligne de jonction de ces deux centres de gravité partiels est

$$\frac{-\frac{1}{n'}\Sigma'\eta + \frac{1}{n''}\Sigma''\eta}{-\frac{1}{n'}\Sigma'\xi + \frac{1}{n''}\frac{\Sigma''\eta}{\Sigma''\xi}}.$$

Or, puisque l'origine est au centre de gravité général, on a $\Sigma'\xi + \Sigma''\xi = 0$, $\Sigma'\eta + \Sigma''\eta = 0$. Eliminant les Σ' au moyen de ces deux équations, et divisant haut et bas par

Observons que l'égalité posée, dans les trois méthodes, entre la somme des n valeurs du premier membre de l'équation $y=p+mx$ et la somme des n valeurs du second, équivaut, si y et x sont des logarithmes de quantités RI et U, p étant lui-même le logarithme d'un coefficient c, *à une egalité posée entre le produit des* n *valeurs particulières de* RI *et le produit des* n *valeurs correspondantes de* cU^m.

CHAPITRE DEUXIÈME.

APPLICATION AUX CANAUX DÉCOUVERTS.

7. *Discussion des expériences. Coordonnées du centre de gravité.*

En considérant d'abord le mouvement uniforme de l'eau dans les canaux découverts, à section et à pente constantes, nous avons appliqué ces trois

---

$\frac{1}{n'}+\frac{1}{n''}$, l'expression précédente de la tangente se réduit à

$$\frac{\Sigma''\eta}{\Sigma''\xi},$$

et a également pour valeur :

$$\frac{-\Sigma'\eta}{-\Sigma'\xi}, \quad \text{ou} \quad \frac{-\Sigma'\eta+\Sigma''\eta}{-\Sigma'\xi+\Sigma''\xi}.$$

Sous cette dernière forme, elle est identique à l'expression (15) $\frac{S\eta}{S_{+}\xi}$. Donc, etc.

méthodes à 93 expériences, qui ne sont autre chose que les 99 citées au *Recueil des cinq Tables* de M. de Prony, ou celles n°s 1 à 91 employées par M. Eytelwein (*), plus celles 92 à 99 faites en Italie (**), mais en retranchant, de celles de Du Buat les *six* suivantes dont Prony n'a pas cru prudent de se servir dans ses Recherches physico-mathématiques, savoir :

1° Le n° 11 du mémoire d'Eytelwein ou du Recueil de cinq Tables de Prony. C'est le n° 105 de l'article 55 de Du Buat, non reproduit par lui avec les autres expériences à ses articles 377 et 389.

2° et 3° Les n°s 14 et 23. Canal du Jard, fond garni de roseaux ; n°s 116 et 117 de l'article 55 de Du Buat; 176 et 175 de ses articles 404 et 405.

4° Le n° 40. Rivière de Haine, n° 184 des articles 404 et 406 de Du Buat; expérience faite par un grand vent.

5° et 6° Les n°s 32 et 39. Ce sont les n°s 97 et 100 de l'article 55 de Du Buat, 156 et 163 de son article 369, où il présente ces deux expériences comme peu sûres.

Nous avons, bien entendu, pour les expériences n°s 3, 4, 17, 20, 22, 46, remplacé les *vitesses observées à la surface*, mises (sans doute par erreur) à la huitième colonne de la table deuxième

(*) 5e et 6e tableau du mémoire traduit aux Annales des mines, 1825. Il y en a 36 de Du Buat (Principes d'hydraulique, t. I, art. 55), 16 de Brüning (Architecture hydraulique générale de Wiebeking, t. I, p. 344 et 388), 4 de Woltmann (Mémoire sur l'art de construire les canaux, p. 279), et 35 de Funk (Sur l'architecture hydraulique générale, p. 97 et 100).

(**) Ricerche geometriche ed idrometriche fatte nella scuola d'ingegneri pontifici d'acque e strade. Milano.

du *Recueil de cinq tables*, par les vitesses moyennes que Prony en a déduites et qui sont portées à la septième colonne du tableau n° 3 des Recherches physico-mathémathiques (voir notre tableau ci-après, article 13).

Il en est résulté, n étant $= 93$, et les logarithmes étant ordinaires,

$$(16)\quad \Sigma \log (\mathrm{RI}) = -326{,}40486,\quad \Sigma \log \mathrm{U} = -5{,}49986;$$

d'où, pour les coordonnées du centre de gravité général des 93 points,

$$(17)\quad \frac{1}{n}\Sigma \log (\mathrm{RI}) = -3{,}50973,\quad \frac{1}{n}\Sigma \log \mathrm{U} = -0{,}05914.$$

8. *Exposant* m *déterminé dans la supposition où il n'y a pas d'erreurs sur* U.

En y appliquant la méthode Laplace ou de la moindre somme d'écarts, de l'article 4, les 93 expériences, rangées suivant l'ordre de grandeur du rapport

$$(18)\qquad \frac{\eta}{\xi} = \frac{l.\mathrm{RI} - \frac{1}{n}\Sigma l.\mathrm{RI}}{l.\mathrm{U} - \frac{1}{n}\Sigma l.\mathrm{U}},$$

décroissant depuis $+\infty$ jusqu'à $-\infty$, forment cette série :

N°s 41, 44, 49, 51..... 86, 81, 67, 80, 8, 87, 94..... 99, 59, 36, 28, 42 (*).

(*) On peut, pour l'établir, se contenter de calculer les rapports $\frac{\eta}{\xi}$ avec la règle à coulisse, sauf à vérifier l'ordre de quelques numéros qui en occupent le milieu au moyen de calculs plus précis de six ou sept de ces rapports.

La somme des 93 dénominateurs $\xi = l.\mathrm{U} - \frac{1}{n}\Sigma l.\mathrm{U}$ pris tous positivement, ou la somme des grandeurs absolues des distances des 93 points à leur centre de gravité, comptées dans le sens des abscisses $l.\mathrm{U}$, est

$$23,81300.$$

La moitié de cette somme n'est pas encore atteinte quand on n'additionne les distances que jusqu'au n° 80 inclusivement, car le résultat de cette addition est 11,46622; elle est dépassée quand on ajoute le n° 8, car on a 12,45543. Donc la valeur de m donnant le minimum de la somme des écarts sur log RI, ou des distances des points à la ligne droite $\eta = m\xi$, mesurés dans le sens des η ou log RI, est la valeur du rapport $\frac{\eta}{\xi}$ pour l'expérience n° 8. On a donc, par cette méthode,

$$m = \frac{\eta^{(r)}}{\xi^{(r)}} = 1,89904.$$

En cherchant la valeur du même exposant m de U dans $\mathrm{RI} = c\mathrm{U}^m$, ou du même coefficient de $l.\mathrm{U}$ dans l'équation (4) par la méthode des moindres carrés de Legendre (art. 5), et en faisant toujours

$$l.\mathrm{U} - \frac{1}{n}\Sigma l.\mathrm{U} = \xi, \quad l.\mathrm{RI} - \frac{1}{n}\Sigma l.\mathrm{RI} = \eta,$$

il faut calculer $\Sigma\xi^2$ et $\Sigma\xi\eta$. En calculant aussi $\Sigma\eta^2$ dont nous aurons besoin à l'article suivant, on trouve

(20) $\Sigma\xi^2 = 9,13887$; $\Sigma\xi\eta = 17,19213$; $\Sigma\eta^2 = 32,91627$.

D'où le quotient

$$m = \frac{\Sigma\xi\eta}{\Sigma\xi^2} = 1,8812.$$

En appliquant enfin la méthode de M. Cauchy, ou des trois centres de gravité, de l'art. 6, comme nous venons déjà de trouver par l'addition des 93 valeurs absolues des ξ pris tous positivement

$$S_+\xi = 23,8130.$$

Et comme on trouve, en faisant la somme algébrique des 93 valeurs de η, prises aussi toutes positivement excepté celles répondant aux deux expériences n°s 28 et 42 pour lesquelles le η, ayant un signe contraire au ξ correspondant, doit être pris négativement

$$S\eta = 45,60287,$$

on a, pour le quotient,

$$m = \frac{S\eta}{S_+\xi} = 1,91504.$$

9. *Même exposant s'il n'y a pas d'erreurs sur* RI.

Les trois valeurs que nous venons d'obtenir pour m seraient les plus propres à compenser et corriger mutuellement, de la manière particulière à chacune des trois méthodes, les erreurs sur log RI, provenant de l'observation, ou les erreurs proportionnelles sur RI, si ce que nous avons appelé les écarts était bien ces erreurs sur les ordonnées, *ou si, comme nous avons dit, il n'y avait aucune erreur d'observation sur les abscisses log* U, et aussi si la loi du phénomène était de nature à être représentée tout à fait exac-

tement par l'équation de la forme choisie, c'est-à-dire si les deux conditions qui se trouvent remplies ordinairement dans les questions d'astronomie étaient également remplies dans celle qui nous occupe.

Mais, outre le défaut de conformité de l'équation à la loi, dont nous ferons abstraction ici, il a pu y avoir des erreurs commises dans le mesurage des vitesses U, tout comme dans le mesurage des deux facteurs du produit RI.

Nous pouvons nous proposer de compenser et corriger les *écarts* proportionnels sur U (ou ce que seraient les *erreurs* d'observation sur cet élément s'il n'y en avait pas sur RI), tout comme nous nous sommes proposé de compenser les écarts proportionnels sur RI.

Il est bien évident qu'au lieu de poser, en commençant, notre équation de relation entre la *pente I*, le *rayon moyen* R et la vitesse U, sous la forme (2) $RI = cU^m$, où elle est résolue par rapport au produit RI, nous pouvions tout aussi bien la poser résolue par rapport à la vitesse, ou sous cette forme

$$(21) \qquad U = \left(\frac{1}{c}\right)^{\frac{1}{m}} (RI)^{\frac{1}{m}}$$

et la traiter comme nous avons fait celle $RI = cU^m$.

Nous pouvons donc appliquer les méthodes Laplace, Legendre, Cauchy à l'équation

$$(22) \qquad \text{Log}\, U = -\frac{1}{m} \log c + \frac{1}{m} \log(RI)$$

résultant de ce qu'on prend les logarithmes des deux membres de l'équation (21), tout comme nous avons fait pour l'équation (4) log RI = etc.,

dont celle-ci se déduit au moyen d'une simple transposition et d'une division par le nombre constant cherché m. Nous verrons ainsi quelles valeurs sont à donner à $\frac{1}{m}$, et par suite à m, pour compenser et atténuer les écarts sur log U.

Les trois nouvelles droites à déterminer passent, comme les trois premières, par le centre de gravité des 93 points ayant pour coordonnées les valeurs particulières de log U et log RI fournies par les 93 expériences.

Pour avoir l'inclinaison de celle que la méthode Laplace doit fournir, nous avons dû ranger les expériences suivant l'ordre des grandeurs décroissantes non plus de $\frac{\eta}{\xi}$, mais de $\frac{\xi}{\eta}$. L'ordre n'est pas exactement inverse de celui qui a été trouvé à l'article précédent, car les expériences 28 et 42, pour lesquelles $\frac{\eta}{\xi}$, et, par conséquent, $\frac{\xi}{\eta}$ est négatif, et qui se trouvaient pour cela placées à la fin de la première série, se trouvent encore, par la même raison, à la fin de la série nouvelle, qui est ainsi :

Nos 36, 59, 89..... 94, 87, 8, 80, 67, 81, 86..... 40, 44, 41, 42, 28.

On a, pour la somme des 93 valeurs de η prises toutes positivement,

$$S_{+}\eta = 45,78229.$$

La moitié de cette somme n'est pas encore atteinte quand on n'additionne les grandeurs de η que jusqu'au n° 67 inclusivement, car le résultat de cette addition est 22,70625; elle est dépassée quand on ajoute l'η du n° 81, car il en résulte

23,33625. Donc le $\frac{\xi}{\eta}$ de l'expérience n° 81 donne la valeur de $\frac{1}{m}$, et l'inverse, que nous appellerons $\frac{\eta^{(r')}}{\xi^{(r')}}$, est la valeur de m remplissant la condition du minimum de la somme des écarts sur *l*. U, *ou des distances des points à la droite*, mesurés non plus parallèlement aux ordonnées *l*. RI, mais *parallèlement aux abscisses* l. U. On a ainsi :

$$m = \frac{\eta^{(r')}}{\xi^{(r')}} = 1{,}9057.$$

Si cette valeur est un peu différente de celle 1,8990 déjà trouvée, ou si elle est fournie par une expérience (n° 81) autre que celle (n° 8) qui avait fourni la première valeur, cela s'explique en considérant que les η, dont les sommes successives ont déterminé le choix de l'expérience 81, ne varient pas proportionnellement aux ξ, dont les sommes avaient fixé le choix primitif sur celle 8. Cela tient surtout à l'influence des deux expériences 42 et 28, pour lesquelles le η est de signe contraire au ξ, et qui sont représentées graphiquement par des points placés dans les deux angles de la croix des axes coordonnés ξ, η, pour lesquels les ordonnées η ont un autre signe que les abscisses, tandis que les quatre-vingt-onze autres points sont placés dans les angles des coordonnées toutes deux positives ou toutes deux négatives.

Pour calculer la même inclinaison $\frac{1}{m}$ de la droite, par la méthode des moindres carrés de Legendre, il faut prendre

$$\frac{1}{m} = \frac{\Sigma\xi\eta}{\Sigma\xi\eta^2},$$

ce qui donne, d'après les valeurs numériques (20),

$$m = \frac{\Sigma\eta^2}{\Sigma\xi} = 1,9146.$$

La différence de plus de 0,03 entre cette valeur et celle $\frac{\Sigma\eta\xi}{\Sigma\xi^2} = 1,8812$ trouvée à l'article précédent ne peut tenir qu'à ce que les écarts $y_1 - p - mx_1$, $y_2 - p - mx_2$..... ne sont point assez petits devant y_1, y_2..... ou x_1, x_2..... vu l'ordre d'exactitude des expériences, pour que leurs carrés et leurs produits soient sans influence sensible sur la deuxième décimale (*).

(*) En effet, si l'on désigne par ε_1 ε_2... les écarts sur y, si l'on met pour y_1 y_2... leurs valeurs $p + mx_1 - \varepsilon_1$, $p + mx_2 - \varepsilon_2$..... dans les valeurs successives $y_1 - \frac{1}{n}\Sigma y$, $y_2 - \frac{1}{n}\Sigma y$.... de η, et si l'on fait, pour abréger,

$$\frac{n\Sigma\varepsilon x - \Sigma\varepsilon\Sigma x}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} = \mathrm{E}, \quad \frac{n\Sigma\varepsilon^2 - (\Sigma\varepsilon)^2}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} = \mathrm{E}'^2$$

on trouve facilement

$$\frac{\Sigma\xi\eta}{\Sigma\xi^2} = m + \mathrm{E}, \quad \frac{\Sigma\eta^2}{\xi\Sigma\eta} = m + \mathrm{E} + \frac{\mathrm{E}'^2 - \mathrm{E}^2}{m + \mathrm{E}},$$

d'où

$$\frac{\Sigma\xi\eta}{\Sigma\xi^2} - \frac{\Sigma\eta^2}{\Sigma\xi\eta} = \frac{\mathrm{E}^2 - \mathrm{E}'^2}{\frac{\Sigma\xi\eta}{\Sigma\xi^2}}.$$

En sorte que, comme nous l'avancions, la différence des deux valeurs $\frac{\Sigma\xi\eta}{\Sigma\xi^2}$, $\frac{\Sigma\eta^2}{\Sigma\xi\eta}$ trouvées pour m, en appliquant la méthode de Legendre de deux manières, ne dépend que de carrés et de produits des quantités ε.

Enfin, pour calculer $\frac{1}{m}$ d'après la méthode de M. Cauchy, on n'a qu'à diviser, par la valeur $S_{+}\eta = 45,78229$ de la somme des 93 valeurs de η prises toutes positivement, celle $S\xi = 23,52684$ de la somme des valeurs de ξ prises aussi toutes positivement excepté celles relatives aux expériences n°s 28 et 42. On a ainsi, en inversant :

$$m = \frac{S_{+}\eta}{S\xi} = 1,9460.$$

La droite dont l'angle avec l'axe des ξ ou des η a ce nombre pour tangente *est celle qui joint les centres de gravité des deux groupes de points séparés, non plus par l'axe des* η *comme à l'article précédent, mais par l'axe des* ξ. C'est la droite qui compense les écarts *sur les valeurs absolues de* η, ou les petits nombres à retrancher des η pris tous positivement, pour rendre exactes les n équations particulières $\eta_{,} = m\xi_{,}$, $\eta_{,,} = m\xi_{,,}$, etc.

La différence assez notable entre ce nombre et celui $\frac{S\eta}{S_{+}\xi} = 1,9150$ déjà trouvé tient entièrement à ces deux expériences n°s 28 et 42, qui fournissent des nombres négatifs au numérateur $S\eta$ de l'expression de m de l'article précédent, et au dénominateur $S\xi$ de l'expression de m de celui-ci.

Le point n° 28 (*), situé dans l'angle droit des ξ négatifs et η positifs, faisait partie du groupe inférieur dans le calcul de l'article précédent, et le point n° 42, situé dans l'angle des ξ positifs et η négatifs, faisait partie du groupe supérieur. *C'est*,

(*) Voyez *Pl. XI, fig.* 1.

au contraire, maintenant le n° 42 qui est dans le groupe inférieur, et le n° 28 dans le supérieur, ce qui fait un double motif d'augmentation de *m*. S'il n'y avait de points que dans les deux angles où les coordonnées ξ et η sont toutes les deux positives ou toutes les deux négatives, les deux valeurs de *m* données par la méthode Cauchy seraient identiques (*).

10. *Quelle valeur donner à l'exposant* m *en ayant égard simultanément aux erreurs sur* U *et aux erreurs sur* RI ?

Les trois valeurs de *m* de l'article précédent se-

(*) Il y a donc par la manière de séparer les points de l'art. 8, comme par celle de l'art. 9, 38 points dans le groupe inférieur et 55 dans le groupe supérieur. Il peut sembler plus convenable de mettre dans les deux groupes le même nombre de points, ou du moins 46 points dans l'un et 47 dans l'autre, ce qui n'empêcherait pas la ligne de leurs deux centres de gravité de passer par le centre de gravité général, bien que la séparation se fasse alors à une certaine distance de celui-ci.

Mais, de cette manière, on ferait trop dominer l'influence de la partie supérieure de la figure, où les points sont plus serrés. Les données expérimentales relatives aux petites vitesses seraient en partie sacrifiées par cela seul que, vu leur nombre relativement moindre, elles ont fourni des points plus écartés, et la formule à établir représenterait moins bien cette région du phénomène. Il convient mieux d'opérer cette séparation par une ligne passant au centre de gravité général des points, ce qui produira, comme nous avons vu aux art. 8 et 9, une valeur de *m* compensant à peu près les *écarts sur les valeurs absolues*, soit des ξ, soit des η. Il en résulte aussi une compensation des écarts qui tendent à relever la partie supérieure de la ligne ou à augmenter *m* par les écarts qui tendent à abaisser cette partie de ligne ou à diminuer *m*.

raient les meilleures, dans le système de chacune des trois méthodes, s'il n'y avait d'erreurs d'observation que sur les U, de même que celles de l'article 8 seraient les meilleures, s'il n'y en avait que sur les RI.

Comme il y en a sur les unes comme sur les autres, il convient de prendre des valeurs de *m* intermédiaires.

Pour trouver simplement, d'une manière approchée et probable, celles qui conviennent le mieux, nous supposerons, d'après la connaissance que nous pouvons avoir de la manière dont les expériences ont été faites, qu'il existe un rapport constant entre les erreurs proportionnelles sur RI et les erreurs proportionnelles sur U, ou, ce qui revient au même (art. 4), entre les erreurs absolues sur log RI et sur log U.

Soit — *r* ce rapport.

Le point exact, situé sur la droite cherchée AB (*fig.* 2) supposée représenter rigoureusement la loi du phénomène, et relatif à une certaine expérience qui, en raison des erreurs de mesurage, a donné le point M, ne sera ni en N sur une parallèle MN à l'axe des ordonnées, ni en Q sur une parallèle MQ à l'axe des abscisses, mais en un point intermédiaire R, tel que l'on ait

$$\frac{MK}{KR}=r;$$

car MK sera alors l'erreur en plus sur l'ordonnée, et KR l'erreur en moins sur l'abscisse.

L'erreur *résultante* est MR, distance entre le point R, que des observations parfaitement justes auraient fourni, et le point erroné M, fourni par les observations entachées d'inexactitude.

Ce sont les distances MR, c'est-à-dire *les distances des points à la droite cherchée, mesurées par des lignes faisant avec l'axe des abscisses des angles ayant pour tangente* $-$ **r**, qu'il faut atténuer et compenser les unes par les autres au moyen du choix de la valeur de m.

Comme

$$MN = MK + KN = KR.(m+r),$$

on a :

$$MR = \frac{MN}{m+r}\sqrt{1+r^2}.$$

Or les portions MN des ordonnées ont pour valeurs, aux différents points,

$$\eta_1 - m\xi_1, \quad y_2 - m\xi_2, \ldots.$$

On a donc, pour les *erreurs résultantes*, à compenser et atténuer :

$$(25) \quad \frac{\eta_1 - m\xi_1}{m+r}\sqrt{1+r^2}, \quad \frac{\eta_2 - m\xi_2}{m+r}\sqrt{1+r^2}, \quad \text{etc...} \; (*).$$

(*) Il peut sembler au premier abord (parce que le problème paraît être de trouver une ligne droite se rapprochant le plus possible d'une suite de points) que ce sont les écarts *normaux*, ou les petites perpendiculaires abaissées des points sur la droite cherchée, qu'il convient d'atténuer et de compenser.

Cela reviendrait à prendre $r = \frac{1}{m}$.

Mais, avec un peu de réflexion, on voit que cette manière d'appliquer les trois méthodes et d'obtenir un intermédiaire entre les valeurs trouvées en négligeant l'erreur sur l'abscisse et celles trouvées en négligeant les erreurs sur les ordonnées serait fautive. Non-seulement rien ne dit que le rapport de ces erreurs doive être constamment $\frac{1}{m}$, mais encore il faut remarquer que si l'on

Il est très-facile de déterminer les valeurs de m propres à leur atténuation et à leur compensation mutuelle à la manière de chacune des trois méthodes.

Ainsi, pour y appliquer la méthode de M. Cauchy, on mènera, par le centre de gravité C des *points*, une droite DE parallèle aux petites lignes *MR*, c'est-à-dire faisant avec l'axe des ξ un angle dont la tangente soit $-r$, et l'on prendra pour la droite cherchée celle joignant les centres de gravité des points séparés en deux groupes, non plus par $C\xi$ ou $C\eta$, *mais par cette ligne* DCE. Le groupe inférieur se composera de tous les points pour lesquels

$$\eta < -r\xi;$$

le groupe supérieur des points pour lesquels

$$\eta > -r\xi,$$

et l'on aura $m = \frac{S\eta}{S\xi}$, S étant des sommes où les η et les ξ sont pris avec leur signe ou avec un signe contraire, selon qu'ils sont relatifs à des points du groupe supérieur ou à des points du groupe inférieur.

Pour y appliquer la méthode Laplace, on n'a qu'à transformer les coordonnées $\xi = Cp$ et

---

prend une échelle différente pour les abscisses et pour les ordonnées, ce que l'on fait souvent pour ne pas avoir des lignes trop inclinées et pour rendre plus sensibles les écarts, ou si, ce qui revient au même (et ce qui est permis) on vient à représenter par l'ordonnée le double ou le décuple de ce qu'on représentait d'abord, les grandeurs géométriques de m fournies par la méthode des petites normales ne suivraient nullement la même proportion, comme cela devrait être.

$\eta = Mp$ en d'autres Cp', Mp' respectivement perpendiculaire et parallèle à CD, et ayant la même origine C. On aura, pour ces coordonnées nouvelles :

$$(24) \qquad \frac{\xi+\eta r}{\sqrt{1+r^2}}, \quad \frac{\eta-\xi r}{\sqrt{1+r^2}}.$$

On rangera donc les expériences par ordre des grandeurs décroissantes des rapports

$$(25) \qquad \frac{\eta-\xi r}{\xi+\eta r}=\frac{\frac{\eta}{\xi}-r}{1+r\frac{\eta}{\xi}},$$

ce qui n'exigera pas qu'on les calcule, car il suffira de connaître seulement le plus grand de tous ceux qui sont positifs, et de placer l'expérience qui l'a fourni en tête de la liste, en conservant du reste l'ordre trouvé à l'article 8 et déterminé par les grandeurs de $\frac{\eta}{\xi}$. Puis on prendra pour valeur de η celle des $\frac{\eta}{\xi}$ relatifs au point pour lequel la somme des numérateurs $\xi+\eta r$ des abscisses (additionnés successivement et tous positivement) commence à excéder la moitié de leur somme générale $S_+(\xi+\eta r)$.

Enfin, pour y appliquer la méthode de Legendre, on n'a qu'à imposer la condition de la moindre somme des carrés des erreurs résultantes

$$\frac{\eta-m\xi}{m+r}\sqrt{1+r^2},$$

ou à poser

$$\Sigma\left(\frac{\eta - m\xi}{m+r}\right)^2 = \text{minimum}.$$

Différenciant par rapport à m on obtient, pour le déterminer, l'équation

$$(26)\quad \Sigma[(m+r)(\eta - m\xi)(-\xi) - (\eta - m\xi)^2] = 0,$$

dans laquelle nous n'effacerons point le second terme entre crochets, puisque nous ne supposons pas, comme Laplace (art. 9), que le carré des écarts $\eta - m\xi$ soit tout à fait négligeable devant leur première puissance multipliée par l'abscisse. Cette équation donne

$$(26)\qquad m = \frac{\Sigma\eta^2 + r\Sigma\xi\eta}{\Sigma\xi\eta + r\Sigma\xi^2},$$

ou, si l'on représente respectivement par m', m'' les valeurs $\frac{\Sigma\xi\eta}{\Sigma\xi^2}$, $\frac{\Sigma\eta^2}{\Sigma\xi\eta}$ que la méthode Legendre a données pour m aux articles 8 et 9 :

$$(27)\quad m = m'.\frac{m''+r}{m'+r} = m' + \frac{m'}{m'+r}(m'' - m').$$

11. *Application.*

Cette expression (27) d'une valeur intermédiaire entre celles m' et m'' trouvées lorsque l'on néglige alternativement les erreurs proportionnelles sur l'abscisse et les erreurs proportionnelles sur l'ordonnée, est la plus simple qu'on puisse désirer. Elle redonne bien m' quand on suppose $r = \infty$ ou les erreurs sur log U nulles, et m'' quand on suppose $r = 0$ ou les erreurs sur l.RI nulles.

Aussi, quoiqu'elle n'ait été fournie que par la

méthode des moindres carrés, l'appliquerons-nous aussi aux valeurs de m' et m'' trouvées aux nos 8 et 9 par l'emploi des deux autres méthodes, ce qui donnera un résultat non moins approché que si nous faisions subir à ces deux méthodes les modifications indiquées à l'article précédent.

De plus, nous prendrons pour m' la moyenne arithmétique des valeurs de m trouvées article 8 par les trois méthodes, ou

$$m' = 1{,}8984;$$

et pour m'' la moyenne de celles trouvées article 9, ou

$$m'' = 1{,}9221.$$

Quant à la valeur à adopter pour r, observons que les expériences sur les grands cours d'eau naturels ont pu donner quelquefois, sur la vitesse U, des erreurs proportionnelles presque aussi grandes que les erreurs proportionnelles sur la pente I, dont le mesurage est toujours délicat, mais que, dans les expériences en petit, la valeur de la vitesse U, prise en mesurant des volumes écoulés, est peu sujette à erreur. Nous prendrons donc

$$r = 2,$$

ou, moyennement, les erreurs proportionnelles sur RI, doubles de celles sur U.

La formule (27) donnera :

$$m = m' + \frac{m'}{m' + 2}(m'' - m') = 1{,}8984 + 0{,}0115 = 1{,}9099.$$

12. *Formule monôme pour les canaux.*

Comme on a toujours une petite latitude dans le choix d'un paramètre d'une formule représentative à deux ou plusieurs paramètres, il convient d'en

profiter pour prendre pour l'exposant m une fraction assez simple, afin que l'on puisse, dans les applications, multiplier facilement par cette fraction et par son inverse les logarithmes de U et de RI.

Or les fractions simples qui se rapprochent le plus de la valeur 1,9099 qu'on vient de trouver pour m sont :

$$\frac{19}{10} = 1{,}9000, \quad \frac{21}{11} = 1{,}9091, \quad \frac{23}{12} = 1{,}9167.$$

Nous prendrons celle $\frac{21}{11}$ comme la plus approchée, et aussi comme se prêtant plus facilement au calcul; car la multiplication et la division de nombres de plusieurs chiffres s'effectue aussi facilement par 11 que par un nombre d'un seul chiffre, sans écrire autre chose que le résultat; et, si l'on n'acquiert pas l'habitude de faire de même pour la multiplication et la division par 21, on peut multiplier ou diviser successivement par 3 et par 7, opérations toutes faciles, et dont la dernière, si l'on a soin de réserver une multiplication pour la fin, peut se faire en même temps qu'une addition à un autre logarithme, comme celui du coefficient c.

L'exposant m étant choisi, le coefficient c s'en déduit, dans toutes les méthodes, par la formule (11, de l'article 4)

$$(28) \qquad \operatorname{Log} c = \frac{1}{n} \Sigma \log \mathrm{RI} - m \cdot \frac{1}{n} \Sigma \log \mathrm{U},$$

ou par la condition que la somme algébrique des écarts absolus, soit *sur log* RI, soit *sur log* U,

et par conséquent des écarts proportionnels sur RI et sur U, soit nulle. Il en résulte

$$\mathrm{Log}\, c = -3{,}39683{,}0, \quad -\log.\, c^{\frac{1}{m}} = 1{,}77929{,}2\,;$$

d'où les deux formules empiriques monômes

$$(29) \qquad \left\{ \begin{array}{l} \mathrm{RI} = 0{,}00040102\, \mathrm{U}^{\frac{21}{11}} \\ \mathrm{U} = 60{,}158\, (\mathrm{RI})^{\frac{11}{21}} \end{array} \right. .$$

13. *Comparaison de diverses formules avec l'expérience.*

Voici un tableau comparé des valeurs de U données :

1° Par l'expérience ;

2° Par la formule (1) de Prony, où l'on a les valeurs

$$a = 0{,}0000444499, \quad b = 0{,}0003093140$$

obtenues seulement au moyen de 30 expériences de Du Buat, auxquelles M. de Prony a joint une expérience de Chézy sur la rigole de Courpalet ;

3° Par la formule semblable de M. Eytelwein, qui a obtenu

$$a = 0{,}0000242651, \quad b = 0{,}0003655430$$

au moyen de 36 expériences de Du Buat, et 55 d'hydrauliciens allemands ;

4° Par notre formule monôme (28) à exposant $\frac{21}{11}$ ou $\frac{11}{21}$;

5° Par une autre formule semblable

$$\mathrm{RI} = 0{,}00039560\, \mathrm{U}^{\frac{15}{8}} \quad \text{ou} \quad \mathrm{U} = 65{,}282\, (\mathrm{RI})^{\frac{8}{15}},$$

dressée tant par tracé que par calcul, en nous servant seulement des 51 premières expériences de notre tableau, qui vont jusqu'à celle numérotée 99 inclusivement, ou à celle 54 exclusivement, c'est-à-dire jusqu'à $U = 1^m,20$ au plus, à cause du reproche qui a été fait récemment à la formule Eytelwein (*) d'avoir été dressée avec des expériences trop variées et trop dissemblables, et pour des vitesses considérables que l'on ne donne jamais à l'eau dans des canaux artificiels, à l'établissement desquels la formule est surtout destinée.

Dans ce tableau nous avons intercalé les huit expériences d'Italie (92 à 99) à la place que leur assignait la grandeur des vitesses, et nous avons interverti les autres numéros conformément aux corrections faites, comme nous avons dit (art. 7), aux *vitesses observées* du *Recueil de cinq tables*, de Prony. Nous avons corrigé aussi quelques vitesses calculées et d'autres erreurs de la table deuxième du Recueil que nous citons.

La seconde et la troisième colonne contiennent les numéros correspondants des Recherches physico-mathématiques de Prony, et des Principes de Du Buat, ainsi que le nom des expérimentateurs autres que celui-ci.

(*) M. Dupuit, Études, art. 34.

NOMS des observateurs autres que de Du Buat, et numéros — au Recueil de cinq tables.	aux Recherches physico-mathémat.	aux Principes de Du Buat, articles 389 et 404.	VALEURS du produit RI.	VITESSES — observées.	calculées par la formule — Binôme à coefficients — Prony.	Eytelwein.	Monôme à exposant — $\frac{11}{21}$	$\frac{8}{15}$
1	2	121 Y.	0,0000080	0,124	0,104	0,118	0,129	0,125
2	3	124 Z.	0,0000128	0,154	0,144	0,157	0,165	0,160
3	4	177 (Jard). .	0,0000185	0,161	0,179	0,194	0,200	0,195
4	5	179 (*Id.*). . .	0,0000214	0,172	0,201	0,211	0,215	0,211
7	6	178 (*Id.*). . .	0,0000286	0,212	0,241	0,249	0,251	0,246
5	7	126 M.	0,0000259	0,242	0,216	0,225	0,228	0,224
6	8	127 S.	0,0000316	0,249	0,256	0.263	0,264	0,260
8	9	128 N.	0.0000317	0,263	0.256	0,263	0,265	0,260
9		Woltmann.	0,0000361	0,281	0,277	0,282	0,283	0,279
10		*Id.*	0,0000397	0,281	0,293	0,298	0,298	0,293
17	10	181 (Haine).	0,0000446	0,301	0,315	0,318	0,317	0,312
12		Woltmann.	0,0000443	0,320	0,313	0,316	0,315	0,311
13	11	130 T.	0,0000427	0,327	0,306	0,310	0,309	0,305
15	12	131 O.	0,0000352	0,334	0,273	0,279	0,279	0,275
20	13	180 (Jard). .	0,0000513	0,348	0,341	0,343	0,341	0,336
22	14	183 (Haine).	0,0000496	0,353	0,336	0,337	0,335	0,330
16	15	132 R.	0,0000473	0,367	0,326	0,329	0,326	0,322
18	16	133 V.	0,0000569	0,384	0,360	0,360	0,357	0,352
19	17	135 X.	0,0000695	0,421	0,401	0.404	0,399	0,396
21		Woltmann.	0.0000650	0,430	0,392	0,390	0,386	0.382
24	18	138 D.	0,0001126	0,495	0,536	0,523	0,514	0,512
25	19	143 P.	0,0000959	0,548	0.490	0,480	0,473	0,470
26	20	144 E.	0,0001376	0,549	0,599	0,581	0,571	0,569
27	21	149 F.	0,0001560	0,606	0,644	0,623	0,612	0,611
28		Funk (en petit). .	0,0003157	0,633	0,940	0,896	0,882	0,887
29	22	151 G.	0,0001664	0.637	0,665	0,642	0,631	0,630
95		Bonati.	0,0001613	0,687	0,654	0,632	0,621	0,620
30	23	155 C.	0,0002108	0,735	0,757	0,727	0,714	0,715
96		Bonati.	0.0003283	0,736	0,790	0,758	0,745	0,746
31	24	148 A.	0,0001841	0,745	0,703	0,677	0,665	0,665
33	25	160 Q.	0,0001870	0,766	0,709	0,683	0,671	0,671
34		Brünings.	0,0002548	0,771	0,838	0,802	0,789	0,791
35	26	157 H.	0,0002212	0,772	0,777	0,745	0,752	0,733
36		Funk.	0,0003083	0,772	0.930	0,885	0.872	0,876
46	27	182 (Haine).	0,0002176	0,776	0,826	0,791	0,777	0,779
37	28	161 B.	0,0002190	0,783	0,773	0,742	0,728	0.730
38	29	162 I.	0,0002412	0.816	0,814	0,750	0,766	0,768
41	30	164 K.	0,0002522	0,863	0,834	0,798	0,784	0.787
42	31	165 L.	0,0002566	0,880	0,842	0,806	0,792	0,794
43		Brünings.	0,0003304	0,917	0,964	0,923	0,904	0,909
44		*Id.*	0,0004191	0,918	1,094	1,038	1,000	1,034
45		*Id.*	0,0003929	0,938	1,058	1,004	0,989	0,996
47		*Id.*	0,0004035	0,975	1,052	1,019	1 003	1,011
48		Funk.	0,0004215	1,011	1,074	1,056	1,027	1,034
49		*Id.*	0,0006901	1.035	1,425	1,341	1,329	1,346
50		Brünings.	0,0004166	1,039	1,061	1,034	1,020	1,028
51		Funk.	0,0006609	1,057	1,392	1,312	1,299	1,311

NOMS des observateurs; et numéros au *Recueil de cinq tables.*		VALEURS du produit RI.	VITESSES observées.	VITESSES calculées par la formule binôme à coefficients Prony.	Eytelwein.	monôme à exposant $\frac{11}{21}$	$\frac{8}{15}$
52	Brünings.	0,0003956	1,092	1,041	1,007	0,993	1.000
99	Ecole romaine. .	0,0003725	1,115	1,028	0,977	0,962	0,968
53	Brünings.	0,0005809	1,122	1,300	1,228	1,214	1,229
96	Ecole romaine. .	0,0004627	1,146	1,156	1,095	1,080	1,090
54	Brünings.	0,0005642	1,210	1,280	1.210	1,196	1,209
55	*Id.*	0,0004648	1,218	1,130	1,094	1,080	1.090
56	*Id.*	0.0005790	1,225	1,292	1,225	1,212	1,225
57	Funk.	0,0008175	1,226	1,557	1,463	1,435	1,473
58	*Id.*	0,0007174	1,239	1,453	1,368	1,356	1,374
97	Bonati.	0,0007052	1,269	1,440	1,356	1,344	1,361
59	Brünings.	0.0005580	1,274	1,006	0,957	0,942	0,948
60	*Id.*	0,0004469	1,293	1,102	1,073	1,058	1,066
61	*Id.*	0,0006507	1,299	1,380	1,302	1,289	1,304
62	*Id.*	0,0006559	1,304	1,386	1.306	1,294	1,310
63	Funk.	0,0007590	1,337	1,496	1,408	1,397	1,416
92	Bidone.	0,0007066	1,366	1,442	1,358	1,345	1.363
64	Funk.	0,0007749	1,417	1,513	1,423	1,415	1,431
65	*Id.*	0,0008000	1,450	1,542	1,446	1,436	1,456
66	*Id.*	0,0007575	1,467	1,494	1,407	1,391	1,411
67	Brünings.	0,0008374	1,474	1,575	1,481	1,471	1,492
68	Funk.	0,0009422	1,490	1,675	1,572	1,564	1,589
69	*Id.*	0,0007182	1,502	1,411	1,369	1,357	1.375
70	*Id.*	0,0008508	1,506	1,588	1,493	1,483	1,505
71	*Id.*	0,0011335	1,509	1,844	1,728	1,723	1,753
72	*Id.*	0,0009568	1,575	1,682	1,585	1,577	1,601
93	Bidone.	0,0009348	1,586	1,663	1,566	1,557	1,581
73	Funk.	0,0009181	1,597	1,652	1,552	1,543	1,567
74	*Id.*	0,0010230	1,600	1,442	1,640	1,633	1,660
75	*Id.*	0,0009481	1,608	1,680	1,576	1,569	1,594
76	*Id.*	0,0012445	1,626	1,935	1,812	1,810	1.843
77	*Id.*	0,0009631	1,663	1,694	1,590	1,582	1.607
94	Bidone.	0,0010849	1,692	1,802	1.690	1,684	1,713
78	Funk.	0,0010745	1,735	1,793	1,681	1,676	1,704
79	*Id.*	0,0011647	1,757	1,870	1,752	1,748	1,779
80	*Id.*	0,0012489	1,820	1,938	1,815	1,813	1.846
81	*Id.*	0,0013210	1,869	1,996	1,868	1,866	1.901
82	*Id.*	0,0014980	1,919	2,150	1,991	1,994	2,034
83	*Id.*	0.0015613	1,993	2,176	2.034	2,048	2,080
84	*Id.*	0,0016040	2,008	2,206	2,062	2,067	2.110
85	*Id.*	0,0016297	2,035	2,224	2.078	2,084	2,128
86	*Id.*	0,0015700	2,040	2.182	2,039	2,043	2,086
87	*Id.*	0,0016393	2,101	2,232	2,085	2,091	2,135
88	*Id.*	0,0017309	2,119	2,205	2.141	2,151	2,197
89	*Id.*	1,0019626	2,294	2,442	2,284	2,298	2,350
90	*Id.*	1,0022389	2,409	2,611	2,442	2,462	2,521
91	*Id.*	1,0021642	2,416	2,574	2,400	2,418	2,475

On voit, d'après ce tableau, que notre formule monôme à exposant $\frac{11}{21}$ ou $\frac{21}{11}$ donne, pour la vitesse moyenne U, correspondant à des grandeurs données du produit RI, des valeurs différant fort peu de celles fournies par la formule binôme à coefficients Eytelwein, et généralement aussi rapprochées que ceux-ci des vitesses données par l'expérience.

Quant à la formule à exposant $\frac{8}{15}$ ou $\frac{15}{8}$, composée seulement avec les expériences ayant donné des vitesses au-dessous de $1^m,20$, elle peut être préférable dans ces limites; mais on voit que l'approximation qu'elle donne de plus est peu de chose, et qu'on ne peut l'étendre à des vitesses au delà de $1^m,50$, car elle donne alors des résultats trop forts (*).

(*) On voit aussi par la comparaison numérique (qui n'avait encore été faite nulle part jusqu'à $2^m.50$) entre les résultats des deux formules binômes à coefficients Prony et Eytelwein, que la formule Prony, dressée avec des expériences où la vitesse n'a pas dépassé $0^m.88$, non-seulement donne des vitesses trop fortes passé cette grandeur, mais encore ne satisfait pas mieux aux observations pour des vitesses au-dessous, que celle à coefficients Eytelwein. Cela me paraît justifier la préférence donnée à celle-ci par la plupart des ingénieurs, quelque fondement que puisse avoir une partie des critiques de M. Dupuit, qui s'adressent d'ailleurs à toute formule ne contenant que la vitesse moyenne et encore plus aux expérimentateurs allemands, et malgré l'objection que nous avons faite nous-mêmes ci-dessus (art. 4, 2e note) contre la manière dont M. Eytelwein applique la méthode Laplace en la dénaturant.

On ne doit pas s'étonner, au reste, que deux formules

Nous pensons donc qu'il y a lieu d'adopter la formule (29) à exposant $\frac{21}{11}$ ou $\frac{11}{21}$, que l'on peut même *réduire*, pour la rendre plus facile à retenir, à

$$(30)\quad \begin{cases} RI = 0{,}0004\,U^{\frac{21}{11}}; \\ U = 60\,(RI)^{\frac{11}{21}} \end{cases}$$

car une différence de 1/400 sur RI ou sur U est sans importance (*).

dont les coefficients sont aussi différents que ceux Prony et Eytelwein représentent presque aussi bien l'une que l'autre les expériences de $0^m,20$ à 1 mètre. On peut choisir *arbitrairement* l'un des deux coefficients dans le champ *assez étendu* des anomalies des expériences. Si l'autre est calculé de manière que les écarts en plus compensent à peu près les écarts en moins, l'équation représentera toujours les expériences à cela près de quantités de l'ordre des erreurs de l'observation.

(*) M. Courtois a proposé (Traité des moteurs inanimés, art. 99) une formule $RI = 0{,}007848\,\frac{U^2}{2g}$ qui revient, en faisant $g = 9^m81$, à $RI = 0{,}0004U^2$, ou $U = 50\sqrt{RI}$. M. Courtois ne dit pas comment il a calcule son coefficient.

Cette formule est exactement la même que celle de M. Tadini (Nadault de Buffon, Des canaux d'arrosage, liv. v, chap. xxi, t. II, p. 220), excepté que les hydrauliciens italiens mettent en général, dans les formules, la profondeur moyenne de l'eau au lieu du rayon moyen.

Si nous adoptions, comme ces ingénieurs, 2 pour la valeur de l'exposant m de notre formule, l'équation (28) et les valeurs (17) que nous avons trouvées pour $\frac{1}{n}\Sigma l.\,U$

14. *Lignes figuratives. Table usuelle. Observation sur une solution plus exacte et moins empirique des questions d'hydraulique.*

On peut voir sur la planche XII, *fig.* 1, où l'on a figuré la suite des points dont les abscisses sont les valeurs de log U, et les ordonnées les valeurs de log (RI), U et RI ayant les valeurs fournies par l'expérience, et rapportées à la cinquième et à la quatrième colonnes de la table de l'article précédent, que ces 93 points, sauf ceux qui s'écartent beaucoup des autres, sont convenablement remplacés par la ligne droite en pente de $\frac{21}{11}$ passant par leur centre de gravité. La ligne (ponctuée) en pente de $\frac{15}{8}$, et la ligne en pente

---

et $\frac{1}{n}\Sigma l.\mathrm{RI}$, nous donnent $c = 0{,}00040698$, d'où $\mathrm{RI} = 0{,}0004064\,\mathrm{U}^2$ et $\mathrm{U} = 49.6\sqrt{\mathrm{RI}}$.

Mais, en supposant même que ces formules en U² donnent pour U des valeurs dont la plupart ne s'écartent pas de celles fournies par l'expérience au delà des limites des erreurs de l'observation, il n'est pas moins vrai et il est très-facile de voir par la suite des points construits, en prenant pour leurs coordonnées soit $l.\mathrm{U}$ et $l.\mathrm{RI}$, soit U et $\frac{\mathrm{RI}}{\mathrm{U}}$, que, conformément à la remarque faite pour la première fois par Du Buat, les *résistances sont en moindre raison que les carrés des vitesses* (Principes d'hydr., art. 27); en sorte qu'il convient, dans l'expression empirique de RI, ou de donner à U un exposant plus petit que 2, comme nous avons fait, ou de joindre au terme en U² un terme en U, comme Girard et Prony, qui certes ne l'ont fait que parce qu'ils s'y sont vus obligés.

de $\frac{2}{1}$ s'en écarte sensiblement, surtout dans le bas.

La planche suivante, *fig.* 4, donne la suite des points ayant pour abscisses les valeurs de U, et pour ordonnées les valeurs de $\frac{RI}{U}$ (*).

On voit que la courbe $\frac{RI}{U} = 0,000401\,U^{\frac{10}{11}}$ les remplace aussi bien que la ligne droite construite avec la formule Eytelwein divisée par U, et bien mieux que la ligne droite construite de même avec la formule Prony, qui semble n'avoir pas d'avantages sur celle construite avec la formule des ingénieurs italiens $\frac{RI}{U} = 0,0004U$.

(*) Voici la suite de ces valeurs multipliée par 1000 :

Numéros.	$1000\frac{RI}{U}$	Numéros.	$1000\frac{RI}{U}$	Numéros.	$1000\frac{RI}{U}$	Numéros.	$1000\frac{RI}{U}$	Numéros.	$1000\frac{RI}{U}$
1	0,0645	21	0,1512	42	0,2916	59	0,2810	76	0,7654
2	0,0631	24	0,2275	43	0,3003	60	0,3468	77	0,8191
3	0,1149	25	0,1750	44	0,4565	61	0,5009	94	0,6412
4	0,1244	26	0,2000	46	0,4389	62	0,3040	78	0,6193
7	0,1349	27	0,2689	47	0,4138	63	0,5677	79	0,6629
5	[illegible]	28	[illegible]	48	[illegible]	92	0,5173	80	0,6862
6	0,1269	29	0,2612	49	0,6668	64	0,6469	81	0,7062
8	0,1205	95	0,2548	50	0,4010	65	0,5517	82	0,7866
9	0,1285	30	0,2868	51	0,6252	66	0,5143	83	0,7834
10	0,1413	96	0,3102	52	0,3825	67	0,5681	84	0,7988
17	0,1482	31	0,2471	99	0,2341	68	0,5323	65	0,8003
12	0,1384	33	0,2441	53	0,5177	69	0,4782	86	0,7696
13	[illegible]	34	0,3306	98	0,4055	70	0,5856	87	0,7802
15	0,1054	35	0,2865	54	0,4663	71	0,7512	88	0,8168
20	0,1474	36	0,3923	55	0,3816	72	0,6075	89	0,8555
22	0,1405	40	0,3191	56	0,4727	93	0,5749	90	0,9294
16	[illegible]	37	0,2797	57	[illegible]	73	0,5740	91	0,8958
18	0,1458	38	0,2955	58	0,6790	74	0,6394		
19	[illegible]	41	0,2922	97	0,5537	75	0,5896		

On peut voir aussi que notre parabole de degré $\frac{10}{11}$ ne diffère guère d'une droite, excepté à peu de distance de son sommet ou pour des valeurs très-petites de U.

Il est bien entendu, d'ailleurs, que je n'accorde à une pareille équation qu'une valeur d'usage, purement empirique, bonne seulement entre les limites des vitesses pour lesquelles elle a été établie, et à laquelle, hors de ces limites, il ne faudrait point se fier. Comme MM. Sonnet (*) et Dupuit, je pense que l'expression binôme elle-même n'a pas d'autre valeur, et que, pour obtenir une formule exacte, il faudrait exprimer le *frottement extérieur* ou la résistance des parois et de l'air en fonction, non pas de la vitesse moyenne, mais des vitesses des filets contigus, vitesses dont la relation avec la vitesse moyenne ne peut être établie qu'au moyen de la connaissance préalable du *frottement intérieur*, ou des actions latérales des filets les uns sur les autres. Le mémoire cité à l'article 2, et publié par extrait aux Comptes-rendus en 1843, c'est-à-dire quinze mois avant les travaux de M. Sonnet, prouve (ainsi qu'un autre mémoire présenté et déposé à l'Académie le 14 avril 1834) que depuis longtemps j'ai fait, dans cette direction, des recherches détaillées ayant pour objet de tenir compte de ces éléments d'une manière très-approchée, recherches dont le resultat ne m'a pas encore suffisamment contenté pour en faire la base de propositions pratiques.

(*) Comptes rendus de l'Académie, 20 janvier 1845, t. XX, p. 150 et 786; et Recherches sur le mouvement uniforme des eaux, par M. Sonnet, in-4°, 1845.

J'exprimerai, dans un autre mémoire, ce que je pense de l'avenir de ces sortes de considérations, et des expériences spéciales qui seraient à entreprendre pour leur donner une base quelque peu sûre. Je dirai seulement, en attendant, que si l'hypothèse de Newton, reproduite par MM. Navier et Poisson, et qui consiste à prendre le frottement intérieur proportionnel à la vitesse relative des filets glissant les uns devant les autres, peut être appliquée approximativement pour les divers points d'une même section fluide, tous les faits connus portent à inférer qu'il faut faire croître le *coefficient* de cette proportionnalité avec les dimensions des sections transversales; ce qui s'explique jusqu'à un certain point en remarquant que les filets ne marchent pas parallèlement entre eux avec des vitesses régulièrement graduées de l'un à l'autre, et que les *ruptures*, les tourbillonnements et les autres mouvements compliqués ou obliques, qui doivent beaucoup influer sur la grandeur des frottements, se forment et se développent davantage dans les grandes sections.

MOUVEMENT DE L'EAU DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS.

Table des valeurs de $\frac{\omega}{\chi} I = RI$ *ou du produit du rayon moyen et de la pente par mètre courant, ou table donnant, pour chaque grandeur de la vitesse moyenne* U *dans un courant uniforme, la petite hauteur* RI *du prisme fluide, dont le poids mesure le frottement moyen de l'eau sur une surface de parois égale à sa base, cette hauteur étant calculée par la formule*

$$RI = 0{,}000\,401\,00\,U^{\frac{21}{11}}.$$

Vitesse U.	VALEUR correspondante de RI.	Différences.	Vitesse U.	VALEUR correspondante de RI.	Différences.
m.	m.		m.	m.	382
0,10	0,000 00[illegible] 94	99	0,47	0,000 094 [illegible]	389
0,11	0,000 005 93	107	0,48	0,000 098 77	397
0,12	0,000 007 [illegible]	116	0,49	0,000 102 74	404
0,13	0,000 008 16	124	0,50	0,000 106 78	411
0,14	0,000 009 40	132	0,51	0,000 110 89	419
0,15	0,000 010 72	141	0,52	0,000 115 08	426
0,16	0,000 012 13	149	0,53	0,000 119 34	433
0,17	0,000 013 62	157	0,54	0,000 123 67	441
0,18	0,000 015 19	165	0,55	0,000 128 08	448
0,19	0,000 016 84	173	0,56	0,000 132 57	456
0,20	0,000 018 57	181	0,57	0,000 137 13	463
0,21	0,000 020 [illegible]	189	0,58	0,000 141 76	470
0,22	0,000 022 27	198	0,59	0,000 146 46	477
0,23	0,000 024 25	205	0,60	0,000 151 23	485
0,24	0,000 026 30	213	0,61	0,000 156 08	492
0,25	0,000 028 43	221	0,62	0,000 161 00	499
0,26	0,000 030 64	229	0,63	0,000 165 99	507
0,27	0,000 032 93	237	0,64	0,000 171 06	514
0,28	0,000 035 30	244	0,65	0,000 176 20	521
0,29	0,000 037 74	253	0,66	0,000 181 41	528
0,30	0,000 040 27	260	0,67	0,000 186 69	536
0,31	0,000 042 87	268	0,68	0,000 192 05	543
0,32	0,000 045 55	275	0,69	0,000 197 48	550
0,33	0,000 048 30	284	0,70	0,000 202 98	557
0,34	0,000 051 14	291	0,71	0,000 208 55	564
0,35	0,000 054 05	298	0,72	0,000 214 19	571
0,36	0,000 057 03	306	0,73	0,000 219 90	579
0,37	0,000 060 09	314	0,74	0,000 225 69	586
0,38	0,000 063 23	322	0,75	0,000 231 55	593
0,39	0,000 066 45	329	0,76	0,000 237 48	600
0,40	0,000 069 74	336	0,77	0,000 243 48	607
0,41	0,000 073 10	345	0,78	0,000 249 55	615
0,42	0,000 076 55	352	0,79	0,000 255 70	622
0,43	0,000 080 07	359	0,80	0,000 261 92	629
0,44	0,000 083 65	367	0,81	0,000 268 21	635
0,45	0,000 087 32	374	0,82	0,000 274 56	642
0,46	0,000 091 06	382	0,83	0,000 280 98	650

Vitesse U.	VALEUR correspondante de RI.	Différences.
m.	m.	650
0,84	0,000 287 48	657
0,85	0,000 294 05	664
0,86	0,000 300 69	671
0,87	0,000 307 40	678
0,88	0,000 314 18	685
0,89	0,000 321 03	692
0,90	0,000 327 95	699
0,91	0,000 334 94	707
0,92	0,000 342 01	712
0,93	0,000 349 13	721
0,94	0,000 356 34	727
0,95	0,000 363 61	734
0,96	0,000 370 95	741
0,97	0,000 378 36	749
0,98	0,000 385 85	756
0,99	0,000 393 41	762
1,00	0,000 401 03	767
1,01	0,000 408 7	78
1,02	0,000 416 5	78
1,03	0,000 424 3	79
1,04	0,000 432 2	80
1,05	0,000 440 2	80
1,06	0,000 448 2	81
1,07	0,000 456 3	82
1,08	0,000 464 5	82
1,09	0,000 472 7	83
1,10	0,000 481 0	84
1,11	0,000 489 4	85
1,12	0,000 497 9	85
1,13	0,000 506 4	86
1,14	0,000 515 0	87
1,15	0,000 523 7	87
1,16	0,000 532 4	88
1,17	0,000 541 2	88
1,18	0,000 550 0	90
1,19	0,000 559 0	90
1,20	0,000 568 0	91
1,21	0,000 577 1	91
1,22	0,000 586 2	92
1,23	0,000 595 4	93
1,24	0,000 604 7	93
1,25	0,000 614 0	94
1,26	0,000 623 4	95
1,27	0,000 632 9	96
1,28	0,000 642 5	96
1,29	0,000 652 1	97
1,30	0,000 661 8	97
1,31	0,000 671 5	98
1,32	0,000 681 3	99
1,33	0,000 691 2	99
1,34	0,000 701 1	101
1,35	0,000 711 2	101
1,36	0,000 721 3	102
1,37	0,000 731 5	102
1,38	0,000 741 7	103

Vitesse U.	VALEUR correspondante de RI.	Différences.
m.	m.	103
1,39	0,000 752 0	103
1,40	0,000 762 3	104
1,41	0,000 772 7	105
1,42	0,000 783 2	106
1,43	0,000 793 8	106
1,44	0,000 804 4	107
1,45	0,000 815 1	108
1,46	0,000 825 9	108
1,47	0,000 836 7	109
1,48	0,000 847 6	110
1,49	0,000 858 6	111
1,50	0,000 869 7	111
1,51	0,000 880 8	111
1,52	0,000 891 9	112
1,53	0,000 903 1	113
1,54	0,000 914 4	114
1,55	0,000 925 8	114
1,56	0,000 937 2	116
1,57	0,000 948 8	116
1,58	0,000 960 4	116
1,59	0,000 972 0	117
1,60	0,000 983 7	118
1,61	0,000 995 5	118
1,62	0,001 007 3	119
1,63	0,001 019 2	120
1,64	0,001 031 2	120
1,65	0,001 043 2	121
1,66	0,001 055 3	122
1,67	0,001 067 5	122
1,68	0,001 079 7	123
1,69	0,001 092 0	124
1,70	0,001 104 4	125
1,71	0,001 116 9	124
1,72	0,001 129 3	126
1,73	0,001 141 9	126
1,74	0,001 154 5	127
1,75	0,001 167 2	128
1,76	0,001 180 0	128
1,77	0,001 192 8	129
1,78	0,001 205 7	130
1,79	0,001 218 7	130
1,80	0,001 231 7	131
1,81	0,001 244 8	132
1,82	0,001 258 0	132
1,83	0,001 271 2	133
1,84	0,001 284 5	133
1,85	0,001 297 8	135
1,86	0,001 311 3	135
1,87	0,001 324 8	136
1,88	0,001 338 4	136
1,89	0,001 352 0	136
1,90	0,001 365 6	138
1,91	0,001 379 4	138
1,92	0,001 393 2	139
1,93	0,001 407 1	139

Vitesse U.	VALEUR correspondante de RI.	Différence.	Vitesse U.	VALEUR correspondante de RI.	Différences.
m.	m.	139	m.	m.	174
1,94	0,001 421 0	140	2,48	0,002 271 0	175
1,95	0,001 435 0	141	2,49	0,002 288 5	176
1,96	0,001 449 1	142	2,50	0,002 306 1	176
1,97	0,001 463 3	142	2,51	0,002 323 7	177
1,98	0,001 477 5	143	2,52	0,002 341 4	178
1,99	0,001 491 8	144	2,53	0,002 359 2	178
2,00	0,001 506 2	144	2,54	0,002 377 0	179
2,01	0,001 520 6	145	2,55	0,002 394 9	180
2,02	0,001 535 1	145	2,56	0,002 412 9	180
2,03	0,001 549 6	146	2,57	0,002 430 9	181
2,04	0,001 564 2	146	2,58	0,002 449 0	181
2,05	0,001 578 8	147	2,59	0,002 467 1	182
2,06	0,001 593 5	148	2,60	0,002 485 3	183
2,07	0,001 608 3	149	2,61	0,002 503 6	184
2,08	0,001 623 2	150	2,62	0,002 522 0	184
2,09	0,001 638 2	150	2,63	0,002 540 4	185
2,10	0,001 653 2	151	2,64	0,002 558 9	185
2,11	0,001 668 3	151	2,65	0,002 577 4	186
2,12	0,001 683 4	152	2,66	0,002 596 0	187
2,13	0,001 698 6	152	2,67	0,002 614 7	187
2,14	0,001 713 8	153	2,68	0,002 633 4	188
2,15	0,001 729 1	154	2,69	0,002 652 2	188
2,16	0,001 744 5	154	2,70	0,002 671 0	189
2,17	0,001 759 9	155	2,71	0,002 689 9	190
2,18	0,001 775 4	156	2,72	0,002 708 9	191
2,19	0,001 791 0	157	2,73	0,002 728 0	191
2,20	0,001 806 7	157	2,74	0,002 747 1	192
2,21	0,001 822 4	158	2,75	0,002 766 3	192
2,22	0,001 838 2	158	2,76	0,002 785 5	193
2,23	0,001 854 0	159	2,77	0,002 804 8	194
2,24	0,001 869 9	160	2,78	0,002 824 2	194
2,25	0,001 885 9	161	2,79	0,002 843 6	195
2,26	0,001 902 0	161	2,80	0,002 863 1	196
2,27	0,001 918 1	161	2,81	0,002 882 7	196
2,28	0,001 934 2	162	2,82	0,002 902 3	197
2,29	0,001 950 4	163	2,83	0,002 922 0	197
2,30	0,001 966 7	164	2,84	0,002 941 7	198
2,31	0,001 983 1	164	2,85	0,002 961 5	199
2,32	0,001 999 5	165	2,86	0,002 981 4	199
2,33	0,002 016 0	166	2,87	0,003 001 3	200
2,34	0,002 032 6	166	2,88	0,003 021 3	201
2,35	0,002 049 2	166	2,89	0,003 041 4	201
2,36	0,002 065 8	167	2,90	0,003 061 5	202
2,37	0,002 082 5	168	2,91	0,003 081 7	202
2,38	0,002 099 3	169	2,92	0,003 101 9	203
2,39	0,002 116 2	170	2,93	0,003 122 2	204
2,40	0,002 133 2	170	2,94	0,003 142 6	204
2,41	0,002 150 2	171	2,95	0,003 163 0	205
2,42	0,002 167 3	171	2,96	0,003 183 5	206
2,43	0,002 184 4	172	2,97	0,003 204 1	206
2,44	0,002 201 6	173	2,98	0,003 224 7	207
2,45	0,002 218 9	173	2,99	0,003 245 4	207
2,46	0,002 236 2	174	3,00	0,003 266 1	
2,47	0,002 253 6	174			

(La suite au prochain numéro.)

MÉMOIRE

Sur des formules nouvelles pour la solution des problèmes relatifs aux eaux courantes ;

Par M. DE SAINT-VENANT.

CHAPITRE TROISIÈME.

FORMULE POUR LES TUYAUX DE CONDUITE.

15. *Partage de la charge d'eau en deux parties.*

En appliquant les mêmes calculs au mouvement de l'eau dans les tuyaux, nous allons voir qu'une expression monôme de la résistance des parois satisfait aux expériences connues jusqu'à présent, non plus *aussi bien*, comme pour les canaux mais *bien mieux* que les expressions binômes.

Rappelons d'abord cette observation essentielle du judicieux Du Buat sur la manière dont on doit faire entrer, dans les calculs de ce genre, la *hauteur de charge* donnée par les expériences, et qui n'est autre chose que la différence de niveau mesurée depuis la surface de l'eau du réservoir supérieur qui alimente le tuyau, jusqu'à l'issue de

ce tuyau s'il débouche dans l'air, ou jusqu'à la surface de l'eau du réservoir inférieur s'il débouche dans l'eau.

« Cette charge, dit Du Buat (*), est une force motrice qui peut être considérée comme divisée en » deux parties, l'*une employée à imprimer la » vitesse*, l'autre à vaincre la résistance qui naît » du mouvement dans toute la longueur du tuyau. »

La première de ces deux parties de la charge serait

$$\frac{U^2}{2g},$$

U désignant la vitesse moyenne, et g la pesanteur, s'il n'y avait aucune contraction à la jonction du tuyau avec le réservoir. Mais, comme dans les expériences, l'entrée du tuyau n'était pas évasée, Du Buat prend

$$\frac{\left(\frac{U}{\mu}\right)^2}{2g},$$

μ étant un nombre un peu plus petit que l'unité, dont nous allons donner la valeur.

Il a bien soin de retrancher de la charge totale Z, donnée par le mesurage dans chacune de ses expériences, cette première partie $\frac{U^2}{\mu^2 . 2g}$ surmontant la *résistance d'inertie* du fluide, et dont la portion $\left(\frac{1}{\mu^2} - 1\right)\frac{U^2}{2g}$ est consommée à engendrer les tourbillonnements, suite inévitable de l'épanouissement rapide de la veine après sa contrac-

(*) Principes d'hydraulique, t. I, art. 22.

tion. C'est le surplus $Z - \frac{U^2}{2\mu^2 g}$ qui, divisé par la longueur du tuyau, donne à Du Buat cette *pente supposée* ou fictive appellé par lui $\frac{1}{b}$, qui, multipliée par le poids du fluide de l'unité de longueur du tuyau, donne la force faisant équilibre à la résistance des parois dans la même étendue, et qui joue dans les tuyaux le même rôle que la pente de superficie dans les canaux (*).

Cette déduction, opérée constamment par Du Buat, est parfaitement rationnelle. Elle est même indispensable. On a peine à concevoir comment Prony a omis de l'opérer dans ses *Recherches*, où il prend constamment pour la pente J des tuyaux la charge *totale* divisée par la longueur. On conçoit encore moins comment, M. Eytelwein l'ayant rétablie (il est vrai, sans citer Du Buat) (**), l'illustre académicien n'y a vu qu'une innovation peu heureuse, introduite dans la vue de donner à une formule de pratique une exactitude exagérée et une généralité inutile (***). Sans doute, dans le plus grand nombre des cas des applications, où les tuyaux ont une longueur excessivement grande par rapport à leur diamètre, la hauteur $\frac{U^2}{\mu^2 . 2g}$ y relative est petite et négligeable devant la charge totale. Mais il n'en est nullement

(*) Principes d'hydraulique, art. 22 et 25.

(**) Recherches sur le mouvement de l'eau en ayant égard à la contraction, etc., IX et X. Annales des mines, 1re série, t. XI.

(***) Recueil de cinq tables, introduction, § IV.

de même, comme il est bien facile de s'en assurer (*), lorsqu'il s'agit de construire une formule avec des expériences *dont plus de la moitié a été faite par des tuyaux de 3 à 20 mètres de longueur seulement*. Le second membre $aU + bU^2$ de la formule de M. de Prony relative aux tuyaux, avec les valeurs numériques qu'il a données aux coefficients, *ne peut donc nullement représenter la résistance des parois*, ou donner, même approximativement, ce qu'on appelle aujourd'hui d'une manière expressive la *perte de charge* due à leur frottement. Cette formule n'est applicable, pour la pratique, ni aux tuyaux courts, *ni aux tuyaux longs*, car il est bien évident que, pour établir les calculs relatifs à ceux-ci comme à ceux-là, il faut tout au moins posséder, en fonction de la vitesse, une expression vraie de la résistance des parois, bien dégagée de la *résistance d'inertie*, qui s'y trouvait mêlée en proportion variable dans les expériences, et qui y était, disons-nous, comparable en grandeur dans la plupart d'entre elles (**).

Appelant donc :

Z (comme tout à l'heure) la charge totale, ou

(*) On n'a pour cela qu'à comparer les nombres Z et Z' (colonnes 6e et 9e) du tableau de l'art. 17 ci-après, surtout vers le bas.

(**) Elle en était les 0,53, les 0,45, les 0,46, les 0,55, les 0.60 dans les expériences portant les numéros 47, 48, 49, 50, 51 aux tableaux Prony et à ceux ci-après (voir celui art. 17). Ces rapports de la partie de la charge employée à communiquer la vitesse U ou à vaincre l'inertie, et de la partie combattant la résistance des parois, ont été calculés (voyez ci-après) en faisant $\frac{1}{\mu^2} = 1,35$ pour les expériences 47, 48, 50, 51, et $\frac{1}{\mu^2} = 1,55$ pour celle 49.

la différence de niveau de l'eau, de l'amont à l'aval;

L la longueur du tuyau;

D son diamètre, en sorte que $\frac{\pi D^2}{4}$ est la section et πD le périmètre mouillé;

g la pesanteur;

Nous chercherons à représenter, comme pour les canaux, les expériences sur les tuyaux plus ou moins longs par une formule

(31) $$\frac{\pi D^2}{4} \frac{Z - \frac{U^2}{\mu^2 . 2g}}{L} = \pi D . cU^m,$$

ou

(32) $$\frac{DJ}{4} = cU^m,$$

c et m étant un coefficient et un exposant numériques à trouver, applicables à tous les tuyaux;

μ un autre coefficient numérique, également à déterminer, et *qui devra varier* d'une série d'expériences à une autre série d'expériences, faite avec d'autres tuyaux, dont l'entrée a des dispositions quelque peu différentes, donnant lieu à une autre contraction, ou dont le corps offre des particularités, telles que coudes ou étranglements, que n'offraient pas les premiers, et dont nous

---

Ils seraient généralement encore plus considérables en faisant, avec Du Buat et Eytelwein, $\frac{1}{\mu^2} = 1,55$ pour toutes, car on aurait 0,58, 0.50, 0,45, 0,62, 0,67. Je le répète, la formule à coefficients Prony, calculés en négligeant de pareilles proportions toutes autres que celles qui ont ordinairement lieu entre les deux mêmes éléments dans les problèmes de pratique, doit être absolument abandonnée.

comprendrons l'influence dans la valeur de ce coefficient μ.

J le quotient de $Z - \frac{U^2}{2\mu^2 g}$ par L, ou la *perte de charge* due, par mètre courant de tuyau, au seul frottement de ses parois.

En sorte que le second membre cU^m soit bien, et uniquement, la résistance du frottement de l'unité superficielle des parois, en poids de l'unité de volume du fluide, ou (art. 1) la petite hauteur du prisme d'eau dont le poids est égal à l'intensité du frottement sur une surface de parois égale à sa base.

Nous nous servirons pour cela des 51 expériences de Du Buat, Bossut, Couplet, dont se sont servis MM. de Prony et Eytelwein, en en consultant quelques autres pour fixer les valeurs du coefficient μ dont nous allons nous occuper d'abord.

16. *Détermination du coefficient μ dont dépend la partie de la charge employée à vaincre l'inertie.*

Du Buat, et après lui Eytelwein, ont adopté la valeur $\mu = \frac{13}{16} = 0,8125$, d'où $\frac{1}{\mu^2} = 1,515$, parce que, d'après Bossut, on a, sous une charge Z, une dépense d'eau $\frac{13}{16} \omega \sqrt{2gZ}$ par seconde à travers un orifice non évasé ω suivi d'un ajutage cylindrique; en sorte que la vitesse moyenne U de l'écoulement par cet ajutage est

$$\frac{13}{16}\sqrt{2gZ}, \quad \text{d'où} \quad Z = \frac{U^2}{\left(\frac{13}{16}\right)^2 \cdot 2g}.$$

Ce coefficient $\frac{13}{16}$ de Bossut résulte de ce que, d'après plusieurs de ses expériences, le rapport entre les *dépenses* d'eau qui ont lieu lorsque le *liquide suit* et lorsqu'il ne suit pas les parois des *ajutages* est celui de 13 à 16 (*), et que la dépense *relative* à ce second cas, étant supposée la même que par un orifice en mince paroi sans ajutage, doit être $\frac{10}{16}\omega\sqrt{2gZ}$, d'après d'autres expériences faites par *lui* antérieurement (**). Les nombres simples 10, 13, 16, qu'il propose pour soulager la mémoire, ne sont qu'approchés (***).

Si, au lieu de déduire ainsi indirectement le coefficient de la dépense par les ajutages du *coefficient de la dépense* par les orifices en mince paroi, on *le tire* des chiffres mêmes des expériences de Bossut sur les ajutages, en se bornant à celles où les vitesses n'ont pas excédé 4 mètres (****), on trouve 0,787 au lieu de $\frac{13}{16} = 0{,}8125$. D'après d'autres expérimentateurs il faudrait prendre 0,82, et c'est ce chiffre qui est le plus adopté aujourd'hui.

Mais le coefficient μ de notre formule (31) de l'article précédent ne doit pas être tout à fait le même que celui dont il faut affecter $\sqrt{2gZ}$ pour avoir la vitesse U de l'écoulement par un ajutage

(*) Hydrodynamique, t. II, ch. III, art. 493 à 497, et 520 à 526. Expériences III, V, VII, IX, XI comparées à IV, VI, VIII, X, XII.

(**) Même ouvrage, ch. II, art 460 à 473.

(***) *Idem*, art. 473, 497, 478, 527.

(****) *Idem*, art. 520 et 521. Expériences V, VII, IX, XI.

ou tuyau court, car en appliquant à un tuyau quelconque cette formule que nous pouvons écrire

$$\frac{1}{\mu^2}\frac{U^2}{2g} = Z - \frac{4}{D}cU^m.L,$$

on prend toujours, pour L, la longueur totale du tuyau sans en retrancher une petite portion égale aux ajutages sur lesquels les expériences dont on vient de parler ont été faites. Il faut donc nécessairement, pour tirer $\frac{1}{\mu^2}$ des résultats de ces expériences spéciales sur les ajutages ou tuyaux courts, déduire de la charge Z, avant de la diviser par $\frac{U^2}{2g}$, la valeur que peut avoir pour chaque ajutage le deuxième terme $\frac{4}{D}cU^m.L$ du second membre de l'équation précédente, c'est-à dire la petite *perte de charge* due au frottement ordinaire des parois d'une portion de tuyau égale en longueur à cet ajutage.

C'est ce qu'on a fait au tableau suivant, où J représente la *perte de charge* $\frac{4}{D}cU^m$ par unité de longueur. Nous l'avons évaluée en prenant (voyez ci-après) $c=0{,}000296$, $m=\frac{12}{7}$. Cette déduction nous a permis de comprendre au tableau quatre expériences de Du Buat, faites sur des tuyaux de 0^m,65 de longueur, avec une disposition à l'entrée probablement analogue à ce qui avait lieu pour ses tuyaux longs.

NOMS des AUTEURS.	NUMÉROS des expériences aux articles 520 et 521 de Bossut.	NUMÉROS des expériences à l'article 348 de Dubuat.	NUMÉROS des expériences au troisième tableau de M. Eytelwein.	DIAMÈTRE du tuyau D	LONGUEUR du tuyau L	CHARGE d'eau mesurée Z	VITESSE moyenne U	PERTE DE CHARGES pour frottement ordinaire par mètre courant $J=\frac{4}{D}\cdot 0{,}000296\,U^{\frac{12}{7}}$	PERTE DE CHARGES pour frottement ordinaire pour la longueur L JL	Reste pour la charge Z − JL communiquant la vitesse.	Coefficient $\frac{1}{\mu^2}=\frac{Z-JL}{\frac{1}{2g}U^2}$
				m	m.	m.	m.			m.	
Bossut. .	V	. . . . .	2	0,013535	0,05414	1,2452	3,8811	0,89710	0,04857	1,1966	1,5593
Id. . .	VII	. . . . .	4	0,02256	*Id.*	*Id.*	3,8893	0,54020	0 02925	1,2160	1,5771
Id. . .	IX	. . . . .	1	0,013535	*Id.*	0,6497	2,8077	0,51504	0,02786	0,6218	1,5476
Id. . .	XI	. . . . .	3	0,02256	*Id.*	*Id.*	2,8136	0,31011	0,01679	0,6329	1,5681
Dubuat. .	. . . . .	79	. . . . .	0,02707	0,6497	0,2436	1,6038	0,09417	0,06118	0,1824	1,2954
Id. . .	. . . . .	80	. . . . .	*Id.*	*Id.*	0,4873	2,2978	0,18264	0,11866	0,3686	1,3692
Id. . .	. . . . .	81	. . . . .	*Id.*	*Id.*	0,7309	2,8820	0,26930	0,17496	0,5559	1,3129
Id. . .	. . . . .	82	. . . . .	*Id.*	*Id.*	0,9814	3,3197	0,34317	0,22296	0,7584	1,3502
Id. . .	. . . . .	83	. . . . .	*Id.*	0,10828	0,7332	3,2137	0,31868	0,03451	0,6987	1,3278

Nous n'avons pas compris à ce tableau les expériences I, II et III de Bossut (*), portant les n°s 7, 6, 5 au tableau Eytelwein, parce que les vitesses y sont de 7 mètres, ce qui est inusité dans les tuyaux de conduite, et ce qui, avec un tuyau de $0^m,02707$ de diamètre, donnerait des pentes J de $\frac{5}{4}$ par notre formule cU^m, et de $\frac{2}{1}$ par celle d'Eytelwein $aU + bU^2$. Nous n'avons pas non plus rapporté les expériences 8 à 13 du tableau de M. Eytelwein, car elles ne sont pas de Bossut, quoique son nom se trouve en regard.

D'après la colonne $\frac{1}{\mu^2}$ (dernière colonne) du tableau qui précède, nous adopterons pour les expériences de Bossut (où le tuyau était soudé à un réservoir en fer-blanc dont l'orifice devait être à vive arête)

$$\frac{1}{\mu^2} = 1,55, \quad \text{ou environ} \quad \mu = 0,80;$$

et pour les expériences de Du Buat (où le tuyau partait d'une caisse en bois dont l'orifice avait apparemment des arêtes un peu arrondies ou formait comme un léger évasement à l'entrée de l'eau)

$$\frac{1}{\mu^2} = 1,35, \quad \text{ou environ} \quad \mu = 0,86.$$

Quant aux expériences de Couplet sur les conduites d'eau du parc de Versailles (**), plusieurs

(*) Hydrodynamique, art. 493.
(**) Mémoires de l'Académie des sciences, 1732; ou Architecture hydraulique de Belidor, liv. IV, chap. 2.

donnent, comme l'on sait, des résultats tellement divergents de ceux des autres, ainsi que des expériences de Bossut et de Du Buat, que celui-ci et M. de Prony n'ont pas cru pouvoir s'en servir pour établir leurs formules empiriques. Les sept qu'ils ont introduites dans leurs tableaux sont encore affectées, comme le remarque Du Buat, de plusieurs causes d'anomalies (*), car dans les tuyaux sur lesquels elles ont été exécutées, il y a des coudes, des points hauts sans ventouses où il a dû se cantonner de l'air, et des points bas où il y avait sans doute du limon amoncelé.

Un coude arrondi en quart de cercle d'un tiers de mètre de rayon ne fait perdre qu'une portion de charge égale aux 0,05 seulement de la hauteur due à la vitesse, d'après la formule par laquelle Navier représente les expériences de Du Buat sur les tournants. Mais les points hauts et bas où se trouvaient de l'air ou de la vase ont bien pu faire perdre autant de charge qu'un rétrécissement de moitié, suivi d'un élargissement rapide, c'est-à-dire une charge qui serait égale à $\frac{U^2}{2g}$ d'après le théorème de Borda. Nous prendrons en conséquence, en comptant $1,5\frac{U^2}{2g}$ pour la portion de charge employée à donner la vitesse :

Pour le tuyau de 5 pouces (*fig.* 3 de Couplet),

(*) Principes, art. 353. — M. Nepveu, architecte du château de Versailles, a bien voulu, en 1837, me citer des faits à l'appui de l'opinion que Dubuat s'était formée de l'état défectueux des conduites sur lesquelles Couplet a fait ses expériences.

expériences numérotées 2, 3, 5, 6, 7, 8 au tableau ci-après, $\frac{1}{\mu^2} = 2,5$.

Pour le tuyau de 18 pouces (*fig.* 4 de Couplet), expérience n° 43 ci-après, $\frac{1}{\mu^2} = 2$.

Au reste ces deux nombres un peu incertains n'ont qu'une faible influence, vu la grande longueur des tuyaux de Versailles.

17. *Détermination de la partie de la charge d'eau représentant la résistance des parois.*

Nous avons, en conséquence et avec les données puisées directement dans les écrits de nos trois expérimentateurs, dressé un premier tableau des charges mesurées Z, des vitesses U et des charges réduites ou des parties $Z - \frac{1}{\mu^2}\frac{U^2}{2g}$ de la charge totale Z (art. 15).

Nos valeurs de la vitesse U, pour les expériences portant les n°s 19, 21, 25, 31, 33, 34, 37, 39, 42, 44, 45, 49, au tableau n° 2 des Recherches physico-mathématiques et à la table 3e du Recueil de cinq tables (voir notre tableau et celui de l'art. 20), sont plus fortes d'un peu plus de 1 p. 100 que les vitesses sur lesquelles Prony a fait ses calculs, parce que nous avons rétabli à 2 pouces, conformément aux art. 611 et 612 de l'Hydrodynamique de Bossut, le diamètre du tuyau que Prony a supposé, pour ces 12 expériences, de 2^{pouces},01, en copiant une faute d'impression du tableau de l'art. 55 de Du Buat, p. 74.

A l'expérience 5ᵉ, on a mis 0,122124 pour la vitesse observée, réduite en mètre, au lieu de 0,111718 qui est la suite d'une erreur dans la réduction des pouces en millimètres.

A l'expérience 43ᵉ, on a mis 3^m,93190 de charge au lieu des 3^m,92739 du tableau de Prony, parce que Couplet donne 145 pouces 1/4 et non 145 1/12.

Etc.

Pour ne pas excéder le format in-8ᵉ, nous n'avons pas compris dans ce tableau les longueurs et les diamètres; nous les avons rejetés au tableau de l'art. 20 ci-après. Nous devons dire d'avance, quant aux longueurs : 1° que nous avons changé légèrement celle donnée par Prony au tuyau des expériences 2, 3, 5, 6, 7, 8, parce que Couplet l'établit à 84259 pouces et non à 84240; 2° que nous avons pour les expériences 10 et 11, portant les nᵒˢ 53 et 52 à l'art. 55 de Du Buat, établi à 19^m,9509 ou 737 pouces la longueur du tuyau, bien que le mot *idem* des tableaux des Recherches et du Recueil de Prony semble indiquer une longueur de 138 pouces 1/2. Cette erreur, au reste, n'avait pas passé dans les calculs de Prony, ni dans ceux de M. Eytelwein.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES					HAUTEUR de la charge d'eau totale Z.	VITESSE moyenne U	$\frac{1}{\mu^2}$	Charge représentant la résistance des parois $Z - \frac{1}{\mu^2}\frac{U^2}{2g} = Z'$.
au recueil de cinq tables et aux recherches physico-mathématiques de Prony.	de Du Buat. à l'art. 35	de Du Buat. à l'art. 348	aux articles 609 à 613 et 632, 633, de Bossut.	au mémoire de Couplet, 3e et 4e profils.				
					m.	m.		m.
1	56	62		3e pr.	0,004060	0,043014	1,35	0,003933
2	88			2°	0,151132	0,054479	2,50	0,150686
3	87			3°	0,306784	0,085382	2,50	0,305865
4	55	63			0,013535	0,098074	1,35	0,012873
5	86			4°	0,453422	0,122124	2,50	0,451525
6	85			5°	0,570716	0,130115	2,50	0,568561
7	84			6°	0,649678	0,141175	2,50	0,647140
8	83			1° 7°	0,676749	0,144116	2,50	0,674 01
9	54	73			0,018949	0,235211	1,35	0,015532
10	52				0,113694	0,282637	1,35	0,108198
11	53	64			0,113694	0,288863	1,35	0,107951
12	58		XXVIII		0,108280	0,330876	1,55	0,099628
13	70		VI		0,324839	0,340053	1,55	0,315701
14	51	65			0,160525	0,360437	1,35	0,151588
15	69		V		0,324839	0,380766	1,55	0,313381
16	50	66			0,210604	0,409081	1,35	0,199087
17	68		IV		0,324839	0,430584	1,55	0,309779
18	49	67			0,242547	0,440807	1,35	0,229176
19	82		XVIII		0,324839	0,447921	1,55	0,308987
20	48	[illegible]			0,242547	0,456038	1,35	0,228611
21	81		XVII		0,324839	0,500626	1,55	0,305038
22	66		XII		0,649678	0,511514	1,55	0,629005
23	67		III		0,324839	0,512786	1,55	0,304083
24	47	69			0,333502	0,541155	1,35	0,313351
25	80		XVI		0,324839	0,566400	1,55	0,299492
26	46	70			0,370858	0,567657	1,35	0,348691
27	65		XI		0,649678	0,569335	1,55	0,632067
28	45	71			0,395221	0,594641	1,35	0,371131
29	57		XXIX		0,324839	0,603173	1,55	0,296095
30	64		II		0,324839	0,632354	1,55	0,293247
31	79		XV		0,324839	0,650980	1,55	0,291354
32	63		X		0,649678	0,649787	1,55	0,616316
33	78		XXIV		0,649678	0,676195	1,55	0,613529
34	77		XXIII		0,649678	9,751370	1,55	0,605069
35	62		IX		0,649678	0.759989	1,55	0,604011
36	44	72			0,641558	0,776068	1,35	0,600112
37	76		XIV		0,324839	0,799048	1,55	0,274393
38	43	74			0,162419	0,791259	1,35	0,118008
39	75		XXII		0,649678	0,845148	1,55	0,593240
40	61		I		0,324839	0,897639	1,55	0,261172
41	60		VIII		0,649678	0,933183	1,55	0,580874
42	74		XXI	4e pr.	0,649678	0,978274	1,55	0,574068
43	89			1°	3,93190	1,06004	2,00	3,817300
44	73		XIII		0,324839	1,102928	1,55	0,228693
45	72		XX		0,649678	1,176152	1,55	0,540372
46	59		VII		0,649678	1,31381	1,55	0,513247
47	42	76			0,487259	1,57845	1,35	0,317172
48	41	75			0,567116	1,59193	1,35	0,392669
49	71		XIX		0,649678	1,611166	1,55	0,444624
50	40	77			0,721864	1,93011	1,35	0,465607
51	39	78			0,974518	2,29946	1,35	0,610693

18. *Calculs pour obtenir l'exposant* m.

Nous avons donc calculé l'exposant m de l'équation (32) $\frac{DJ}{4} = cU^m$, ou plutôt le coefficient m de celle

$$\text{Log}\,\frac{DJ}{4} = \log c + m \log U,$$

en appliquant les méthodes Laplace, Legendre, Cauchy aux 51 logarithmes des valeurs de U du tableau que nous venons de donner, et aux logarithmes des 51 valeurs correspondantes de $\frac{DJ}{4}$, qui se trouvent, disons-nous, au tableau ci-après de l'art. 20.

Nous avons eu

$$\Sigma \log \frac{DJ}{4} = -207{,}08184, \quad \Sigma \log U = -15{,}79984,$$

et, par conséquent, pour les coordonnées du centre de gravité des $n = 51$ points ayant pour abscisses les log U et pour ordonnées les log $\frac{DJ}{4}$:

$$\frac{1}{n} \Sigma \log \frac{DJ}{4} = -4{,}06043, \quad \frac{1}{n} \Sigma \log U = -0{,}30980.$$

La méthode Laplace a donné, comme à l'art. 8, pour les expériences rangées suivant l'ordre des grandeurs décroissantes du rapport

$$\frac{\eta}{\xi} = \frac{l\frac{DJ}{4} - \frac{1}{n}\Sigma l\frac{DJ}{4}}{lU - \frac{1}{n}\Sigma lU},$$

cette série de numéros :

22, 19, 26..... 32, 41, 51, 30, 35, 46, 1, 14..... 20, 25, 18, 21,

dont le dernier, n° 21, désigne la seule expérience donnant $\frac{\eta}{\xi}$ négatif. La somme des 51 dénominateurs ξ pris positivement est

$$S_{+}\xi = 14{,}65792.$$

La moitié de cette somme n'est pas encore atteinte quand on n'additionne les valeurs absolues des ξ que jusqu'au n° 35 inclusivement, ce qui donne 7,24596. Elle est dépassée quand on ajoute le n° 46, ce qui donne 7,67369. On a donc, d'après la méthode Laplace :

$$m = \text{le } \frac{\eta}{\xi} \text{ du n° } 46 = 1{,}72143.$$

La méthode Legendre donne

$$m = \frac{\Sigma\xi\eta}{\Sigma\xi^2} = \frac{12{,}91415}{7{,}51102} = 1{,}71936.$$

La méthode Cauchy

$$m = \frac{S\eta}{S_{+}\xi} = \frac{25{,}21810}{14{,}65792} = 1{,}72044.$$

Après avoir trouvé ces valeurs qui conviendraient s'il n'y avait pas d'erreurs sur les U, nous avons, comme à l'art. 9, appliqué les mêmes méthodes à la détermination de l'exposant $\frac{1}{m}$ de l'équation

$$(33) \qquad U = \left(\frac{1}{c}\right)^{\frac{1}{m}} \left(\frac{DJ}{4}\right)^{\frac{1}{m}}$$

afin de déterminer aussi les valeurs qui conviennent s'il n'y a pas d'erreurs sur les RI.

La méthode Laplace a donné une série inverse pour le rangement des expériences, excepté que celle 21, au lieu de se trouver désormais à la tête, est encore à la fin. La somme des 51 valeurs de η prises positivement étant

$$S_{+}\eta = 25,24114,$$

sa moitié n'est pas encore atteinte quand on n'additionne les valeurs absolues des η que jusqu'au n° 46, ce qui donne 12,36340, et elle est dépassée quand on ajoute le n° 35. On a donc, d'après la méthode Laplace, $\frac{1}{m}$ = le $\frac{\xi}{\eta}$ du n° 35, ou, en inversant,

$$m = \text{son } \frac{\eta}{\xi} = 1,73627.$$

La méthode de Legendre donne, en inversant également le résultat :

$$m = \frac{\Sigma\eta^2}{\Sigma\xi\eta} = \frac{22,24813}{12,91415} = 1,72277;$$

et la méthode Cauchy

$$m = \frac{S_{+}\eta}{S\xi} = \frac{25,24114}{14,63930} = 1,72420.$$

19. *Formule monôme pour les tuyaux.*

La presque égalité des diverses valeurs de m ainsi obtenues prouve que nous sommes très-près de notre but en adoptant l'une quelconque d'entre elles.

La moyenne des trois premières,

$$1,7204,$$

est peu éloignée de la fraction

$$\frac{12}{7} = 1,7143.$$

La moyenne des trois dernières,

$$1,7277,$$

est très-approchée de la fraction

$$\frac{19}{11} = 1,7273.$$

Il n'y a pas, entre ces deux limites, de fraction assez simple pour pouvoir être adoptée, en sorte qu'il convient de prendre $\frac{12}{7}$ ou $\frac{19}{11}$.

Comme tout le monde n'a pas l'habitude de faire des multiplications et des divisions par 19, ainsi qu'on les fait par un seul chiffre, et comme ce nombre 19 n'est pas décomposable en facteurs comme celui 21, que nous avons pris pour numérateur de l'exposant relatif aux canaux découverts, l'adoption, pour la formule des tuyaux, de l'exposant $\frac{19}{11}$ pourrait conduire à des calculs pénibles. Observons de plus que les erreurs sur les vitesses U ont dû être encore plus petites, comparativement aux erreurs sur $\frac{DJ}{4}$, dans les expériences sur les tuyaux, qu'elles ne l'ont été comparativement aux erreurs sur RI dans les expériences sur les canaux, *en sorte que la première valeur doit convenir plus que la seconde.*

Nous prendrons donc

$$m=\frac{12}{7},$$

qui se rapproche surtout de celle donnée par la *méthode* des moindres carrés.

Il en résulte $\log c=\frac{1}{n}\Sigma l\,.\,\mathrm{RI}-\frac{12}{7}.\frac{1}{n}\Sigma l.\mathrm{U}=$ $=-3{,}529341$, qui est le logarithme de $0{,}00029557$.

En sorte qu'on a, pour représenter empiriquement le mouvement de l'eau dans les tuyaux, ou l'intensité du frottement de l'unité superficielle de leurs parois, en poids de l'unité de volume du fluide,

$$(34)\qquad \frac{\mathrm{DJ}}{4}=0{,}00029557\,\mathrm{U}^{\frac{12}{7}},$$

d'où

$$(35)\qquad \mathrm{U}=114{,}494\left(\frac{\mathrm{DJ}}{4}\right)^{\frac{7}{12}}.$$

20. *Vérification. Lignes figuratives. Observation sur la formule Prony.*

On peut voir à la *figure* 3 de la *Planche XI*, où l'on a rapporté la suite des 51 points ayant pour abscisses et pour ordonnées les logarithmes des vitesses U et des produits $\frac{\mathrm{DJ}}{4}$ fournis par l'expérience, que la loi qu'ils suivent est très-convenablement représentée par la ligne droite en pente de $\frac{12}{7}$ passant par leur centre de gravité.

Une ligne droite en pente de $\frac{2}{1}$ s'en écarte beaucoup plus que pour les canaux découverts; en sorte que les expériences sur les tuyaux sont encore moins susceptibles d'être représentées par une formule dont le second membre est réduit à bU^2.

Voici, pour obtenir une vérification plus directe des formules de l'article précédent, un tableau dont les 2e, 3e et 4e colonnes complètent, comme nous l'avons annoncé, ce qui manque à celui de l'art. 17, et dont les trois dernières colonnes donnent une comparaison entre les valeurs de la vitesse U fournies :

1° Par l'expérience;

2° Par la formule binôme de M. Eytelwein :

$$\frac{DJ}{4} = 0,00002236U + 0,00028032U^2; \tag{36}$$

3° Par notre formule monôme (34) ou (35).

On y voit que les résultats de celle-ci se rapprochent généralement bien plus de l'expérience et qu'elle est beaucoup plus propre à représenter les faits.

Numéros (de Prony).	DIAMÈTRE du tuyau D	LONGUEUR du tuyau L	PRODUIT DE LA PENTE $J = \frac{Z}{L}$ ou de la perte de charge par mètre courant provenant de la résistance des parois sur le quart du diamètre $\frac{DJ}{4}$	VITESSES U observées	VITESSES U calculées par la formule binôme Eytelwein.	VITESSES U calculées par la formule monôme $\left(\frac{1}{c}\frac{DJ}{4}\right)^{\frac{7}{12}}$
1	0,027070	19,9506	0,000 001 334	0,043	0,040	0,0428
2	0,135350	2280,88	0,000 002 235	0,054	0,058	0,0579
3	0,135350	2280,88	0,000 004 538	0,085	0,093	0,0875
4	0,027070	19,9506	0,000 004 367	0,098	0,091	0,0856
5	0,135350	2280,88	0,000 006 698	0,122	0,120	0,1098
6	0,135350	2280,88	0,000 008 434	0,130	0,138	0,1256
7	0,135350	2280,88	0,000 009 600	0,141	0,150	0,1365
8	0,135350	2280,88	0,000 010 000	0,144	0,153	0,1387
9	0,027070	3,7492	0,000 028 036	0,235	0,279	0,2531
10	0,027070	19,9506	0,000 036 702	0,283	0,324	0,2962
11	0,027070	19,9506	0,000 036 618	0,289	0,324	0,2958
12	0,027070	16,2419	0,000 041 513	0,331	0,347	0,3182
13	0,036093	58,4711	0,000 048 719	0,340	0,373	0,3494
14	0,027070	19,9506	0,000 051 420	0,360	0,390	0,3605
15	0,036093	48,7258	0,000 058 034	0,381	0,417	0,3869
16	0,027070	19,9506	0,000 067 532	0,409	0,452	0,4227
17	0,036093	38,9807	0,000 077 708	0,437	0,467	0,4377
18	0,027070	19,9506	0,000 077 739	0,441	0,488	0,4588
19	0,054140	58,4711	0,000 071 526	0,448	0,467	0,4371
20	0,027070	19,9506	0,000 077 548	0,450	0,488	0,4582
21	0,054140	48,7258	0,000 084 732	0,501	0,511	0,4821
22	0,036093	58,4711	0,000 097 067	0,512	0,550	0,5223
23	0,036093	29,2355	0,000 093 814	0,513	0,540	0,5121
24	0,027070	19,9506	0,000 106 29	0,541	0,577	0,5507
25	0,054140	38,9807	0,000 103 99	0,566	0,570	0,5437
26	0,027070	19,9506	0,000 118 28	0,568	0,611	0,5861
27	0,036093	48,7258	0,000 117 05	0,569	0,608	0,5825
28	0,027070	19,9506	0,000 125 89	0,592	0,632	0,6078
29	0,027070	16,2419	0,000 123 37	0,603	0,624	0,6007
30	0,036093	19,4904	0,000 135 76	0,632	0,657	0,6352
31	0,054140	29,2355	0,000 131 88	0,651	0,655	0,6326
32	0,036093	38,9807	0,000 142 67	0,650	0,675	0,6538
33	0,054140	58,4711	0,000 142 02	0,676	0,673	0,6521
34	0,054140	48,7258	0,000 168 07	0,751	0,7[illegible]6	0,7191
35	0,036093	29,2355	0,000 186 43	0,760	0,777	0,7643
36	0,027070	19,9506	0,000 203 56	0,776	0,813	0,8045
37	0,054140	19,4904	0,000 190 55	0,799	0,785	0,7741
38	0,027070	3,7492	0,000 213 01	0,794	0,833	0,8261
39	0,054140	38,9807	0,000 205 99	0,845	0,811	0,8101
40	0,036093	9,7452	0,000 241 83	0,898	0,890	0,8895
41	0,036093	19,4904	0,000 2[illegible]8 92	0,933	0,940	0,9164
42	0,054140	29,2355	0,000 265 77	0,978	0,935	0,9399
43	0,457259	1169,42	0,000 397 64	1,060	1,152	1,1889
44	0,054140	9,7452	0,000 317 63	1,103	1,025	1,0429
45	0,054140	19,4903	0,000 375 26	1,176	1,118	1,1491
46	0,036093	9,7452	0,000 475 24	1,314	1,263	1,3192
47	0,027070	3,1672	0,000 677 70	1,578	1,516	1,6226
48	0,027070	3,7492	0,000 708 79	1,592	1,550	1,6656
49	0,054140	9,7452	0,000 617 53	1,611	1,445	1,5470
50	0,027070	3,1672	0,000 994 88	1,930	1,845	2,0299
51	0,027070	3,1672	0,000 304 88	2,290	2,118	2,3779

On s'en convainc davantage en construisant, à la manière de Prony, la suite des points ayant pour abscisses les valeurs de U et pour ordonnées les valeurs de $\frac{\frac{1}{4}DJ}{U}$ données par l'expérience ou déterminées par nos tableaux (*Pl. XII*, *fig.* 5) (*), et en traçant sur la même figure la courbe représentée par notre équation (34) écrite ainsi :

$$\frac{DJ}{4U} = 0{,}00029557\,U^{\frac{8}{7}}.$$

On reconnaît que la courbe passe bien entre les points de manière à représenter très-convenablement leur ensemble sans reproduire leurs évidentes anomalies.

On reconnaît aussi que la suite de ces points affecte une courbure générale très-prononcée, avec concavité tournée vers l'axe des abscisses U, en sorte qu'on ne saurait remplacer cette suite

(*) Voici la suite des valeurs de $\frac{\frac{1}{4}DJ}{U}$ multipliées par 1000 :

Numéros.	$1000\,\frac{DJ}{4U}$	Numéros.	$1000\,\frac{DJ}{4U}$	Numéros.	$1000\,\frac{DJ}{4U}$	Numéros.	$1000\,\frac{DJ}{4U}$	Numéros.	$1000\,\frac{DJ}{4U}$
1	0,0310	12	0,1255	23	0,1830	34	0,2237	45	0,3191
2	0,0410	13	0,1438	24	0,1964	35	0,2453	46	0,3617
3	0,0531	14	0,1427	25	0,1836	36	0,2623	47	0,4293
4	0,0445	15	0,1524	26	0,2084	37	0,2385	48	0,4452
5	0,0548	16	0,1651	27	0,2056	38	0,2682	49	0,3838
6	0,0648	17	0,1642	28	0,2128	39	0,2437	50	0,5155
7	0,0680	18	0,1764	29	0,2015	40	0,2694	51	0,5675
8	0,0694	19	0,1597	30	0,2147	41	0,2882		
9	0,1192	20	0,1723	31	0,2072	42	0,2717		
10	0,1299	21	0,1693	32	0,2196	43	0,3751		
11	0,1268	22	0,1898	33	0,2100	44	0,2880		

par une ligne droite d'une manière suffisamment approchée. Par exemple, la droite qui résulte de l'équation (36) de M. Eytelwein, divisée par U, passe évidemment trop au-dessus des points répondant aux plus grandes valeurs de RI, tels que ceux des expériences 46, 47, 49, 50, 51, et trop au-dessous des points répondant aux valeurs médiocres, tels que ceux des expériences 9, 10, 13, 17, 22, 24, 27, 28, etc. (*).

Nous ne parlons pas de la ligne droite résultant de l'équation Prony $\frac{DJ}{4U} = 0{,}00001733 + 0{,}0003483U$. Elle s'élève énormément au-dessus de tous les points passé celui n° 20, en sorte que la formule de Prony pour les tuyaux ne représente absolument rien et ne peut être d'aucune utilité.

Une remarque va nous expliquer comment il a pu se faire qu'on l'ait employée aussi longtemps et qu'on en ait même fait encore récemment la base du calcul de tables usuelles étendues, malgré les erreurs où elle entraîne.

L'ensemble des points offre, disons-nous, une courbe concave vers l'axe des U. Si donc on les rehausse tous en augmentant leurs ordonnées $\frac{DJ}{4U}$

(*) Cette droite s'écarte encore plus des points 47, 50, 51 quand, au lieu de prendre, comme nous avons fait, $\frac{1}{\mu^2} = 1{,}35$ pour les expériences de Du Buat, on prend, avec le même M. Eytelwein, $\frac{1}{\mu^2} = 1{,}5148$; en sorte que l'ensemble des points construits avec ses données offre encore plus de courbure que l'ensemble de nos points.

d'une manière progressive, ou de manière que les plus grandes ordonnées reçoivent une augmentation proportionnellement plus considérable, il est évident que la courbure diminuera et pourra même s'effacer de manière que l'ensemble devienne à peu près rectiligne. Or c'est ce qui arrive si l'on remplace nos points par ceux de M. de Prony construits en prenant pour les valeurs de J, non pas celles de $\frac{1}{L}\left(Z - \frac{U^2}{2\mu^2 g}\right)$, mais celles de $\frac{Z}{L}$, comme il a fait. De cette plus grande facilité de représenter par une formule binôme $\frac{DJ}{4U} = a + bU$ les points de M. de Prony que ceux de M. Eytelwein ou les nôtres, on ne doit rien inférer en faveur de la formule Prony pas plus qu'en faveur de la forme binôme de son second membre. C'est un effet du pur hasard; cela n'empêche pas la ligne brisée des points construits par M. de Prony d'être plus sinueuse que la nôtre, et la formule $\frac{DJ}{4} = aU + bU^2$, représentant la ligne droite tracée à travers ces points, de faire une sorte de mélange de deux portions de la charge fort distinctes, et ayant varié relativement l'une à l'autre en toute proportion depuis 1/3 p. 100 *jusqu'à* 60 *p.* 100 *dans les expériences*, comme on peut le voir par les colonnes 6ᵉ et 9ᵉ, ou Z et $Z - \frac{U^2}{2\mu^2 g}$, du tableau de l'art. 17, et qui eût donné jusqu'à 67 p. 100 si l'on avait pris la valeur de $\frac{1}{\mu^2}$ adoptée par d'autres auteurs. Une pareille formule n'a aucune signification physico-mathématique; elle doit in-

duire dans de graves mécomptes lorsque ces deux parties de la charge, si bien distinguées par Du Buat, sont entre elles dans une autre proportion que dans une sorte de moyenne des expériences. Elle doit donc être tout à fait abandonnée.

La courbure de l'ensemble des points ayant pour coordonnées les U et les $\frac{DJ}{4U}$, et les valeurs 1,719 à 1,736 que nous avons trouvées pour l'exposant *m* par diverses méthodes, ne prouvent pas moins qu'il convient d'abandonner aussi, pour les tuyaux, la formule $\frac{DJ}{4}=aU+bU^2$ avec les coefficients Eytelwein ou d'autres quelconques (*).

(*) Notamment avec le coefficient $a=0$.

Une formule monôme du second degré $b'U^2$ représente plus mal les expériences sur les tuyaux que les expériences sur les canaux, malgré l'opinion contraire.

Il est bien facile de voir qu'on ne peut pas tirer, par l'origine des coordonnées U et $\frac{DJ}{4U}$, une ligne droite se rapprochant suffisamment des points pour pouvoir en représenter l'ensemble.

On peut voir aussi (*Pl. XI, fig.* 3) que l'ensemble de ceux ayant pour ordonnées les valeurs de log U et log $\frac{DJ}{4}$ fournies par les 51 expériences peut bien être représenté par des droites faisant avec l'axe des abscisses des angles dont la tangente soit entre 1,70 et 1,75, mais qu'il est impossible de porter cette tangente jusqu'à 2.

Au reste le coefficient *c*, qui conviendrait à cette valeur $m=2$ de l'exposant, aurait, d'après nos valeurs de $\frac{1}{n}\Sigma l U$ et $\frac{1}{n}\Sigma\frac{DJ}{4}$ de l'art. 14, pour logarithme — 3,44083. La formule serait donc

Si l'on voulait donc continuer de se servir d'une formule contenant un terme affecté de la première puissance de U, dans la persuasion où l'on serait, d'après quelques expériences indirectes de Coulomb (*), que, pour les très-petites vitesses telles que 1, 2, 3 centimètres, la résistance des parois doit être proportionnelle à ces vitesses, il serait nécessaire d'ajouter un terme ou de prendre, pour les tuyaux, une expression telle que $\frac{DJ}{4} = aU + bU^2 - cU^3$ (**).

Mais si, comme il paraît convenable, on se tient dans les limites des expériences spéciales rapportées ci-dessus, dont aucune n'a porté sur des vitesses au-dessous de 4 centimètres par seconde, on voit que l'on peut, avec toute l'approximation désirable, se servir de notre formule monôme infiniment plus commode (voyez art. 30) :

$$\frac{DJ}{4} = 0{,}0003624U^2, \quad \text{d'où} \quad U = 26{,}26\sqrt{DJ}.$$

M. Eytelwein prend $0{,}00035U^2$.

M. Courtois indique $0{,}0004U^2$ comme pour les canaux, en prenant, comme Prony, $\frac{Z}{L}$ pour J.

(*) Mémoires de la classe des sciences physiques et mathématiques de l'Institut, t. III.

(**) Le calcul des coefficients a, b, c pourrait s'effectuer par la méthode des moindres carrés, ou bien plus simplement et à peu près aussi exactement par la méthode de M. Cauchy (Journal Liouville, 1837). Il conviendrait de diviser tous les termes par $\frac{1}{4}DJ$, afin de corriger des écarts *proportionnels* (art. 4, 2e note).

$$\frac{D\left(Z - \frac{1}{\mu^2}\frac{U^2}{2g}\right)}{4L} = \frac{DJ}{4} = 0{,}000296U^{\frac{12}{7}};\ \text{ou}\ U = 114{,}5\left(\frac{DJ}{4}\right)^{\frac{7}{12}}$$

qui peut servir facilement, même lorsque c'est U *qu'il s'agit* de déterminer; car une première approximation obtenue en négligeant $-\frac{1}{\mu^2}\frac{U^2}{2g}$ devant Z donnera une valeur provisoire de U, qui servira à évaluer d'une manière suffisamment approchée ce terme déductif $-\frac{1}{\mu^2}\frac{U^2}{2g}$, souvent négligeable dans les applications, *bien qu'il ne le fût nullement dans les conclusions à tirer des expériences de Bossut et de Du Buat.*

21. *Table usuelle pour le mouvement de l'eau dans les tuyaux.*

Nous donnons une table des valeurs de $\frac{DJ}{4}$ calculées par notre formule, pour toutes celles de la vitesse moyenne U, de 0,04 à 4 mètres.

On peut, par la comparaison avec la table de Prony que l'on trouve partout, reconnaître, comme par la *fig.* 5, *Pl. XII*, les différences considérables dont nous avons parlé.

MOUVEMENT DE L'EAU DANS LES TUYAUX DE CONDUITE.

Table des valeurs de $\frac{DJ}{4} = \frac{D}{4} \cdot \frac{Z - \frac{1}{\mu^2}\frac{U^2}{2g}}{L}$, *ou du produit du quart du diamètre* D *et de la* pente fictive J *ou* perte de charge *par mètre courant due au frottement des parois calculées par la formule*

$$1/4\,DJ = 0{,}000295\,57\,U^{\frac{12}{7}},$$

ou Table donnant, pour chaque grandeur de la vitesse moyenne U, *la petite hauteur du prisme fluide dont le poids mesure le frottement de l'eau sur une surface égale à sa base.*

Vitesse U.	VALEUR de 1/4 DJ.	Différences.	Vitesse U.	VALEUR de 1/4 DJ.	Différences.
m.	m.		m.	m.	266
0,04	0,000 001 19	55	0,41	0,000 064 10	271
0,05	0,000 001 74	64	0,42	0,000 066 81	275
0,06	0,000 002 38	72	0,43	0,000 069 56	279
0,07	0,000 003 10	79	0,44	0,000 072 35	284
0,08	0,000 003 89	87	0,45	0,000 075 19	289
0,09	0,000 004 76	95	0,46	0,000 078 08	293
0,10	0,000 005 71	101	0,47	0,000 081 01	298
0,11	0,000 006 72	108	0,48	0,000 083 99	302
0,12	0,000 007 80	115	0,49	0,000 087 01	307
0,13	0,000 008 95	121	0,50	0,000 090 08	311
0,14	0,000 010 16	127	0,51	0,000 093 19	315
0,15	0,000 011 43	134	0,52	0,000 096 34	320
0,16	0,000 012 77	140	0,53	0,000 099 54	324
0,17	0,000 014 17	145	0,54	0,000 102 78	328
0,18	0,000 015 63	152	0,55	0,000 106 06	333
0,19	0,000 017 15	157	0,56	0,000 109 39	337
0,20	0,000 018 72	164	0,57	0,000 112 76	341
0,21	0,000 020 36	169	0,58	0,000 116 17	346
0,22	0,000 022 05	175	0,59	0,000 119 63	350
0,23	0,000 023 80	180	0,60	0,000 123 13	354
0,24	0,000 025 60	185	0,61	0,000 126 67	358
0,25	0,000 027 45	191	0,62	0,000 130 25	362
0,26	0,000 029 36	196	0,63	0,000 133 87	366
0,27	0,000 031 32	201	0,64	0,000 137 53	370
0,28	0,000 033 33	207	0,65	0,000 141 23	374
0,29	0,000 035 40	212	0,66	0,000 144 97	379
0,30	0,000 037 52	217	0,67	0,000 148 76	383
0,31	0,000 039 69	222	0,68	0,000 152 59	387
0,32	0,000 041 91	227	0,69	0,000 156 46	391
0,33	0,000 044 18	232	0,70	0,000 160 37	394
0,34	0,000 046 50	237	0,71	0,000 164 31	399
0,35	0,000 048 87	242	0,72	0,000 168 30	403
0,36	0,000 051 29	247	0,73	0,000 172 33	407
0,37	0,000 053 76	251	0,74	0,000 176 40	410
0,38	0,000 056 27	256	0,75	0,000 180 50	415
0,39	0,000 058 83	261	0,76	0,000 184 65	418
0,40	0,000 061 44	266			

Vitesse U.	VALEUR de 1/4 DJ.	Différences.	Vitesse U.	VALEUR de 1/4 DJ.	Différences.
m.	m.	418	m.	m.	62
0,77	0,000 188 83	423	1,33	0,000 481 9	63
0,78	0,000 193 06	426	1,34	0,000 488 2	62
0,79	0,000 197 32	431	1,35	0,000 494 4	63
0,80	0,000 201 62	434	1,36	0,000 500 7	63
0,81	0,000 205 96	438	1,37	0,000 507 0	64
0,82	0,000 210 34	441	1,38	0,000 513 4	64
0,83	0,000 214 75	446	1,39	0,000 519 8	64
0,84	0,000 219 21	449	1,40	0,000 526 2	65
0,85	0,000 223 70	453	1,41	0,000 532 7	65
0,86	0,000 228 23	457	1,42	0,000 539 2	65
0,87	0,000 232 80	461	1,43	0,000 545 7	66
0,88	0,000 237 41	464	1,44	0,000 552 3	66
0,89	0,000 242 05	468	1,45	0,000 558 9	66
0,90	0,000 246 73	472	1,46	0,000 565 5	66
0,91	0,000 251 45	475	1,47	0,000 572 1	67
0,92	0,000 256 20	479	1,48	0,000 578 8	67
0,93	0,000 260 99	483	1,49	0,000 585 5	68
0,94	0,000 265 82	487	1,50	0,000 592 3	68
0,95	0,000 270 69	490	1,51	0,000 599 1	68
0,96	0,000 275 59	494	1,52	0,000 605 9	68
0,97	0,000 280 53	498	1,53	0,000 612 7	69
0,98	0,000 285 51	501	1,54	0,000 619 6	69
0,99	0,000 290 52	505	1,55	0,000 626 5	70
1,00	0,000 295 57	51	1,56	0,000 633 5	70
1,01	0,000 300 7	51	1,57	0,000 640 5	70
1,02	0,000 305 8	51	1,58	0,000 647 5	70
1,03	0,000 310 9	52	1,59	0,000 654 5	71
1,04	0,000 316 1	52	1,60	0,000 661 6	71
1,05	0,000 321 3	53	1,61	0,000 668 7	71
1,06	0,000 326 6	53	1,62	0,000 675 8	72
1,07	0,000 331 9	54	1,63	0,000 683 0	72
1,08	0,000 337 3	53	1,64	0,000 690 2	72
1,09	0,000 342 6	54	1,65	0,000 697 4	73
1,10	0,000 348 0	55	1,66	0,000 704 7	73
1,11	0,000 353 5	55	1,67	0,000 712 0	73
1,12	0,000 359 0	55	1,68	0,000 719 3	73
1,13	0,000 364 5	55	1,69	0,000 726 6	74
1,14	0,000 370 0	56	1,70	0,000 734 0	74
1,15	0,000 375 6	56	1,71	0,000 741 4	75
1,16	0,000 381 2	57	1,72	0,000 748 9	75
1,17	0,000 386 9	57	1,73	0,000 756 4	75
1,18	0,000 392 6	57	1,74	0,000 763 9	75
1,19	0,000 398 3	57	1,75	0,000 771 4	76
1,20	0,000 404 0	58	1,76	0,000 779 0	76
1,21	0,000 409 8	58	1,77	0,000 786 6	76
1,22	0,000 415 6	59	1,78	0,000 794 2	77
1,23	0,000 421 5	59	1,79	0,000 801 9	77
1,24	0,000 427 4	59	1,80	0,000 809 6	77
1,25	0,000 433 3	60	1,81	0,000 817 3	78
1,26	0,000 439 3	59	1,82	0,000 825 1	78
1,27	0,000 445 2	61	1,83	0,000 832 9	78
1,28	0,000 451 3	61	1,84	0,000 840 7	78
1,29	0,000 457 4	60	1,85	0,000 848 5	79
1,30	0,000 463 4	62	1,86	0,000 856 4	79
1,31	0,000 469 6	61	1,87	0,000 864 3	79
1,33	0,000 475 7	62	1,88	0,000 872 2	80

Vitesse U.	VALEUR de 1/4 DJ.	Différences.	Vitesse U.	VALEUR de 1/4 DJ.	Différences.
m.	m.		m.	m.	
1,89	0,000 880 2	80	2,45	0,001 373 4	96
1,90	0,000 888 2	80	2,46	0,001 383 1	97
1,91	0,000 896 3	81	2,47	0,001 392 7	96
1,92	0,000 904 3	80	2,48	0,001 402 4	97
1,93	0,000 912 4	81	2,49	0,001 412 1	97
1,94	0,000 920 5	81	2,50	0,001 421 9	98
1,95	0,000 928 7	82	2,51	0,001 431 6	97
1,96	0,000 936 9	82	2,52	0,001 441 4	98
1,97	0,000 945 1	82	2,53	0,001 451 2	98
1,98	0,000 953 3	82	2,54	0,001 461 0	98
1,99	0,000 961 6	83	2,55	0,001 470 9	99
2,00	0,000 969 9	83	2,56	0,001 480 8	99
2,01	0,000 978 2	83	2,57	0,001 490 7	99
2,02	0,000 986 6	84	2,58	0,001 500 7	100
2,03	0,000 994 9	83	2,59	0,001 510 7	100
2,04	0,001 003 4	85	2,60	0,001 520 7	100
2,05	0,001 011 8	84	2,61	0,001 530 7	100
2,06	0,001 020 3	85	2,62	0,001 540 8	101
2,07	0,001 028 8	85	2,63	0,001 550 9	101
2.08	0,001 037 3	85	2,64	0,001 561 0	101
2,09	0,001 045 9	86	2,65	0,001 571 2	102
2,10	0,001 054 5	86	2,66	0,001 581 3	102
2,11	0,001 063 1	86	2,67	0,001 591 5	102
2.12	0.001 071 7	86	2,68	0,001 601 8	103
2,13	0,001 080 4	87	2,69	0,001 612 1	103
2,14	0,001 089 1	87	2,70	0,001 622 4	103
2,15	0,001 097 9	88	2,71	0,001 632 7	103
2,16	0,001 106 6	87	2,72	0,001 643 0	103
2,17	0,001 115 4	88	2,73	0,001 653 4	104
2,18	0,001 124 3	89	2,74	0,001 663 8	104
2,19	0,001 133 1	88	2,75	0,001 674 2	104
2,20	0,001 142 0	89	2,76	0,001 684 6	104
2,21	0,001 150 9	89	2,77	0,001 695 1	105
2,22	0,001 159 9	90	2,78	0,001 705 6	105
2,23	0,001 168 9	90	2,79	0,001 716 2	106
2,24	0,001 177 8	89	2,80	0,001 726 7	105
2,25	0,001 186 9	91	2,81	0,001 737 3	106
2,26	0,001 195 9	90	2,82	0,001 747 9	106
2,27	0,001 205 0	91	2,83	0,001 758 5	106
2,28	0,001 214 1	91	2,84	0,001 769 2	107
2,29	0,001 223 3	92	2,85	0,001 779 9	107
2,30	0,001 232 5	92	2,86	0,001 790 6	107
2,31	0,001 241 7	92	2,87	0,001 801 4	108
2,32	0,001 250 9	92	2,88	0,001 812 1	107
2,33	0.001 260 1	92	2,89	0.001 822 9	108
2,34	0 001 269 4	93	2,90	0,001 833 7	108
2,35	0,001 278 7	93	2,91	0,001 844 6	109
2,36	0,001 288 1	94	2,92	0,001 855 5	109
2,37	0,001 297 4	93	2,93	0,001 866 4	109
2,38	0,001 306 8	94	2,94	0,001 877 3	109
2,39	0,001 316 3	95	2,95	0,001 888 3	110
2,40	0 001 325 7	94	2,96	0,001 899 2	109
2,41	0,001 335 2	95	2,97	0,001 910 3	111
2,42	0,001 344 7	95	2,98	0,001 921 3	110
2,43	0,001 354 3	96	2,99	0,001 932 4	111
2,44	0,001 363 8	95	3,00	0,001 943 5	111
		96			

CHAPITRE IV.

QUELQUES APPLICATIONS DES NOUVELLES FORMULES A SECOND NOMBRE MONÔME. — § 1. FORMES ET DIMENSIONS DES SECTIONS. — DIAMÈTRES DES CONDUITES. — SÉPARATION OU RÉUNION DES ÉCOULEMENTS D'EAU. — RELÈVEMENTS OU REMOUS EN AMONT DES BARRAGES.

---

§ 1er. Avantage pratique des nouvelles formules.

22. *Tables hydrauliques suppléables par une table de logarithmes.*

On sait que l'on peut résoudre un grand nombre de problèmes sur les eaux courantes en employant des tables hydrauliques comme celles que nous avons données articles 14 et 21, tables qui pourraient être construites sans formule, en opérant directement la correction mutuelle des anomalies sur les résultats numériques des expériences; mais que l'on préfère dresser au moyen des formules empiriques, afin d'avoir les mêmes nombres, soit qu'on se serve des formules ou des tables.

Mais on n'a pas toujours de tables hydrauliques sous la main, et alors la valeur de U en $\frac{\omega}{\chi}I$ ne s'obtient que péniblement de la formule binôme qui donne

$$U = -\frac{b}{2a} + \sqrt{\left(\frac{b}{2a}\right)^2 + \frac{1}{b}\frac{\omega}{\chi}I},$$

tandis que la formule monôme donne pour U une expression calculable promptement avec une pe-

tite table de logarithmes que l'on trouve partout.

A ce seul point de vue, la formule monôme serait avantageuse, indépendamment de ce qu'elle est la seule conforme aux expériences sur les tuyaux.

23. *Avantage plus grand des formules monômes pour certains problèmes.*

Mais il y a, comme nous avons dit (art. 1), des problèmes que l'on ne peut résoudre à l'aide des tables de U et $\frac{\omega}{\chi}\mathrm{I}$ sans faire des tâtonnements réitérés et très-longs. Nous avons recherché, dans les divers ouvrages publiés depuis celui de Prony, ces problèmes pour la solution desquels leurs auteurs ne conservent que le deuxième terme du second membre de la formule connue, en le réduisant à $b\mathrm{U}^2$, et nous avons reconnu que toutes ces solutions et d'autres encore, sont aussi faciles au moyen de nos formules plus exactes à second membre $c\mathrm{U}^{\frac{21}{11}}$ ou $c\mathrm{U}^{\frac{12}{7}}$, sauf la petite peine de multiplier les logarithmes de U et de $\frac{\omega}{\chi}\mathrm{I}$ par des nombres un peu plus complexes, tels que $\frac{21}{11}$, $\frac{7}{12}$, $1+\frac{21}{11}=3-\frac{1}{11}$, au lieu de 2, $\frac{1}{2}$, 3.

Nous allons en donner quatre exemples.

Le premier, qui s'offre très-fréquemment dans les applications, est l'envoi le plus économique, par un canal, d'un volume d'eau déterminé sous une pente donnée.

Le second, l'envoi, aussi le moins coûteux, de

quantités d'eau déterminées par des tuyaux dont on demande de donner les diamètres.

Le troisième, la comparaison des avantages de la séparation et de la réunion de deux écoulements d'eau d'un marais, ou de deux conduites d'eau d'une ville.

Le quatrième, sur lequel nous nous arrêterons en raison de sa grande importance pratique, est la détermination du *remous* ou gonflement produit jusqu'à une grande distance en amont d'un barrage établi sur un cours d'eau.

§ 2. Détermination prompte des diverses largeurs et profondeurs qui peuvent être données à un canal trapèze pour transporter une quantité d'eau donnée sous une pente donnée, afin de choisir celles qui satisfont, dans chaque cas, au maximum d'économie.

24. *Problème. Condition de l'économie.*

Il s'agit d'établir avec le moins de dépense possible un canal trapèze qui transporte, en suivant un tracé donné en pente uniforme, un volume d'eau déterminé.

Soient toujours U la vitesse moyenne, ω la section, χ le périmètre mouillé, $R = \frac{\omega}{\chi}$, I la pente par mètre. Soient de plus :

$Q = \omega U$ le volume à débiter par seconde;

h la hauteur ou profondeur d'eau dans le canal;

l sa largeur au plafond;

t le rapport de la base à la hauteur de ses talus.

Q et I sont les données du problème. On con-

naît aussi le *talus* t, par la nature du terrain. Il s'agit de déterminer l, h, et, par suite,

$$(37) \qquad \omega = h(l+ht), \; U = \frac{Q}{\omega}, \; \chi = l + 2ht'$$

en faisant ($\sqrt{1+t^2} = t'$).

Si, en attribuant à l'une des deux quantités ω et χ une certaine grandeur, la connaissance de l'autre s'ensuivait *à priori*, et s'en déduisait facilement, comme l'ont supposé quelques auteurs et comme le supposent quelquefois les ingénieurs qui, « pour faire cesser l'indétermination du problème se donnent la figure du profil » (*), le problème se résoudrait facilement par un petit nombre de tâtonnements, en se servant seulement de la table des valeurs correspondantes de RI et de U.

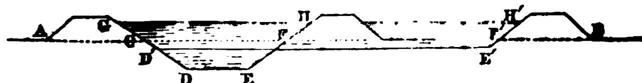
C'est ce qui aurait lieu si, par exemple, la partie ω de la cuvette du canal, contenant l'eau, était constamment *tout en déblai*, et *constituait tout le déblai*, auquel la dépense d'exécution, à rendre un minimum, fût supposée proportionnelle, car cette condition du minimum donnerait $l = 2h(t'-t)$, d'où la relation $\chi^2 = 4\omega(2t-t')$ entre ω et χ (**).

(*) D'Aubuisson. Hydraulique, p. 136.

(**) En effet, il faudrait donner à la section trapèze une forme telle que, pour une surface déterminée ω, elle eût le plus grand rayon moyen $\frac{\omega}{\chi}$, ou telle que le périmètre χ fût le plus petit possible pour ω constant, ou ω le plus grand pour χ constant.

M. d'Aubuisson résout simplement cette question de pure géométrie (Hydraulique, art. 121, p. 138) en remarquant que l'une des deux quantités $\omega = h(l+ht)$,

On aurait une solution toute différente, mais aussi facile si, en supposant toujours la dépense proportionnelle au déblai de la cuvette, on tenait compte de ce que l'eau d'un canal est contenue non-seulement entre les parois de ce déblai, mais aussi entre les deux levées latérales que l'on forme avec les terres qui en proviennent. Ces levées de remblai, trapézoïdales comme la cuvette, ont en couronne une largeur généralement constante, quelle que soit leur distance, ou quelle que soit la largeur du canal. Leur hauteur au-dessus du terrain naturel, supposé avoir une pente longitunale égale à celle du canal et une coupe transversale de niveau, dépend donc de la superficie du déblai; en sorte qu'on aurait, pour même déblai, une section d'eau d'autant plus grande qu'on *éloignerait davantage* les deux levées. Si, par *exemple*, CDEF, CD'E'F' sont deux sections de déblai égales en superficie, creusées l'une et l'autre



dans un terrain dont le profil transversal est l'horizontale AB, la section d'eau GD'E'H' donnée

---

$\chi = l + 2ht'$, devant être constante pendant que l'autre est un maximum ou un minimum, leurs différentielles doivent être nulles en même temps, ce qui donne :

$$hdl + ldh + 2htdh = o, \quad dl + 2t'dh = o,$$

d'où l'on tire $l = 2h\,(t' - t)$, en éliminant dh et dl.

Tout trapèze jouissant de cette propriété de la plus grande surface pour la plus petite somme de sa base inférieure et des deux côtés adjacents d'une inclinaison déterminée, est circonscrit à un demi-cercle ayant son centre au milieu de la base supérieure.

par la seconde, qui est plus large, surpasse celle GDEH donnée par la première, de tout le parallélogramme FHH'F' représentant l'espace gagné par l'éloignement de la levée de droite. D'où il suit que le cube de terrassement à faire pour établir sur un pareil terrain le canal débitant un volume d'eau donné, serait un minimum, en faisant la section d'eau du canal infiniment large, au moyen d'un déblai infiniment peu profond, servant à construire deux levées infiniment distantes (*).

25. *Sa solution dépend de la recherche préalable de nombreux systèmes de valeurs conjuguées de la largeur et de la profondeur, donnant le débit voulu.*

Mais la dépense d'un canal se compose d'autres éléments que le volume des terres à déblayer. Leur

---

(*) On peut le prouver ainsi par le calcul. Supposons pour plus de simplicité que les parois du canal et les côtés des levées soient des plans verticaux : soient x la section du déblai, z sa profondeur, k la hauteur, au-dessus de l'eau, du sommet des levées, auxquelles on suppose une largeur a chacune, on aura, comme le remblai doit égaler le déblai, les trois équations :

$$2a(h+k-z)=l\times z,\quad l\times z=x,\quad \frac{hl}{l+2h}\mathrm{I}=c\left(\frac{\mathrm{Q}}{hl}\right)^m.$$

Éliminant l, puis différenciant par rapport à z en égalant à zéro la différentielle de x qui doit être un minimum, et éliminant ensuite $\frac{dh}{dz}$, on a des équations qui sont satisfaites par $z=0$, $x=2ak$, $l=\frac{2ak}{z}=\infty$. Les autres valeurs qu'on peut en tirer sont étrangères à la question.

transport transversal, qui croît avec la largeur, et aussi *le prix du terrain occupé* y ont une grande part.

Et puis ce terrain n'offre jamais une coupe longitudinale rectiligne et parallèle à la pente. Il ne présente jamais non plus une coupe transversale de niveau : l'une des banquettes latérales est souvent en déblai et l'autre en remblai, et le volume de celle-ci augmente considérablement avec son éloignement de l'axe. Et puis l'une des deux levées se fait en partie avec la terre provenant d'un contre-fossé. Ces raisons et bien d'autres concourent pour modérer la largeur du canal. Le rapport de cette largeur à la hauteur d'eau le plus propre à diminuer la dépense, variera, comme l'on voit, avec une foule de circonstances locales, et il est impossible de donner une formule ou une méthode qui en fournisse généralement la valeur.

Pour fixer son choix dans chaque cas, il sera donc nécessaire de calculer préalablement un nombre suffisant de systèmes de valeurs de la largeur au plafond l, et de la hauteur d'eau h qui, sous la pente longitudinale donnée I, procurent le débit Q, afin de les comparer sous divers rapports, et d'examiner avec soin, bien que d'une manière simplement approximative, et plutôt graphique et visuelle qu'analytique, la dépense qui résulterait de l'adoption de chacun.

26. *Longueur du calcul si l'on emploie soit la formule binôme, soit les tables de* U *en* RI.

Or, si l'on recherche ces systèmes de valeurs conjuguées de h et de l en faisant usage de la formule à second membre binôme, il faudra, avec

Prony, y mettre pour ω, χ, U les valeurs (37), ce qui lui donne la forme

$$(38)\quad h^3(l+ht)^3 - a\frac{Q}{I}h(l+ht)(l+2ht) - b\frac{Q^2}{I}(l+2ht)^2 = o.$$

Elle est du sixième degré en h et du troisième en l.

Résoudre par approximations successives une seule équation numérique d'un de ces deux degrés n'est point pénible ; mais en résoudre une suite de semblables pour des hypothèses suffisamment nombreuses sur la grandeur qu'il est possible d'attribuer à l'une des deux inconnues entraînerait dans des calculs sans fin.

Et si, abandonnant l'équation, on recourait aux tables connues de RI et U, il faudrait, en attribuant successivement et arbitrairement un certain nombre de valeurs à l, essayer *pour chacune d'elles*, diverses valeurs de h, jusqu'à ce qu'on en trouvât une donnant pour $\frac{\omega}{\chi}I$ et $\frac{Q}{\omega}$ des nombres qui se correspondent dans ces tables : opération rebutante que l'on ne pourrait abréger qu'en la bornant à un petit nombre de valeurs de l, soit deux ou trois comme l'on fait ordinairement, ce qui ne renseigne que d'une manière incomplète, et conduit à adopter finalement des dimensions autres que celles donnant ce maximum d'économie.

Le problème est important cependant. C'est celui qui se présente le plus fréquemment dans l'établissement des canaux d'irrigation et de desséchement, des rigoles, etc. Il mériterait des tables numériques spéciales ; mais comment dres-

ser des tables de relation entre *cinq* quantités Q, I, t, l, h?

27. *Sa brièveté avec la formule monôme. Tables donnant encore plus expéditivement autant de systèmes que l'on veut de la largeur et de la profondeur d'eau.*

Notre formule $\frac{\omega}{\chi}\mathrm{I} = c\mathrm{U}^m$ va nous faire sortir de cette difficulté.

En effet, en y mettant pour ω, χ, U leurs valeurs (37), elle devient :

$$h\frac{\frac{l}{h}+t}{\frac{l}{h}+2t'}\mathrm{I}=c\frac{\mathrm{Q}^m}{h^{2m}\left(\frac{l}{h}+t\right)^m}.$$

D'où, t' étant $=\sqrt{1+t^2}$, $c=0.00040102$, $m=\frac{21}{11}$:

$$(39)\qquad h=\left[\frac{\frac{l}{h}+2\sqrt{1+t^2}}{\left(\frac{l}{h}+t\right)^{m+1}}\right]^{\frac{1}{2m+1}}\left(\frac{c}{\mathrm{I}}\right)^{\frac{1}{2m+1}}\mathrm{Q}^{\frac{m}{2m+1}}=$$

$$=\left[\frac{\left(\frac{l}{h}+2\sqrt{1+t^2}\right)^{11}}{\left(\frac{l}{h}+t\right)^{32}}\right]^{\frac{1}{53}}.\left(\frac{0,000401}{\mathrm{I}}\right)^{\frac{11}{53}}.\mathrm{Q}^{\frac{21}{53}}.$$

Cette expression peut être calculée directement et sans tâtonnement, par logarithmes, pour diverses grandeurs du rapport $\frac{l}{h}$, ce qui donnera

assez promptement autant de systèmes de valeurs de l et h que l'on voudra, satisfaisant à la condition du débit donné Q sous la pente donnée I.

Mais comme elle se compose de trois facteurs, on peut en avoir bien plus expéditivement la valeur en puisant ceux-ci dans les trois petites tables suivantes, où la pente I varie depuis 0,000020 jusqu'à 0,002 (deux centimètres jusqu'à deux mètres par kilomètre), le débit Q depuis 20 litres jusqu'à 20 mètres cubes par seconde, les talus depuis zéro jusqu'a 2 de base sur 1 de hauteur, et les rapports $\frac{l}{h}$ de la largeur au plafond à la profondeur d'eau depuis zéro jusqu'à dix (*).

(*) Pour des débits Q qui seraient au-dessous de 20 litres $= 0^{mc},020$ ou au-dessus de 20 mètres cubes, on obtiendrait facilement les valeurs de $Q^{\frac{21}{53}}$ en faisant des produits ou des quotients de nombres compris à la table de ce troisième facteur. Aussi, pour $Q = 0^{m},01 = \frac{0,02}{2}$, on diviserait le nombre relatif à $Q = 0,02$ par celui relatif à $Q = 2$, ce qui donnerait $\frac{0,2121}{0,3161} = 0,1612$. Pour $Q = = 60 = 20 \times 3$, on multiplierait le nombre relatif à $Q = 20$ par celui relatif à $Q = 3$, ce qui donnerait $3,277 \times 1.545 = 5,063$.

De même on pourrait déduire, par une règle de trois, des valeurs du second facteur données par la deuxième table, celles relatives à des grandeurs de la pente I hors des limites 0,00002 et 0,002. Ainsi, pour $I = 0,000015 = = 0,0002 . \frac{0,0015}{0,002}$, on multiplierait les nombres de la table répondant à $I = 0,00002$, $I = 0,0005$, et on diviserait par celui relatif à $I = 0,002$, ce qui donnerait $1,863 . \frac{0,7605}{0,7164} = 1,9777$.

Valeurs du premier facteur de l'expression de la hauteur d'eau

$$h=\left[\frac{\left(\frac{l}{h}+2\sqrt{1+t^2}\right)^{11}}{\left(\frac{l}{h}+t\right)^{32}}\right]^{\frac{1}{33}}\left(\frac{0,00040102}{I}\right)^{\frac{11}{33}}\cdot Q^{\frac{21}{33}}$$

dans un canal trapèze dont la largeur au plafond est l *et les talus* t *sur un, débitant* Q *mèt. cub. par seconde sous une pente* I *par mètre.*

Rapport de la largeur au plafond à la hauteur d'eau $\frac{l}{h}$	Canaux rect. $t=0$; $2\sqrt{1+t^2}-2$ Valeurs du 1er facteur.	Différences.	$t=0,50$; $2\sqrt{1+t^2}-2,236070$ Valeurs du 1er facteur.	Différences.	$t=1$ sur 1; $2\sqrt{1+t^2}-2,82843$ Valeurs du 1er facteur.	Différences.	$t=1,25$; $2\sqrt{1+t^2}-3,20156$ Valeurs du 1er facteur.	Différences.
			m.		m.		m.	
0,00	∞		1,7548		1,2408		1,1127	
0,25	2,7328		1,4372	3176	1,1037	1371	1,0124	1003
0,50	1,8380	8948	1,2323	2049	1,0048	989	0,9359	765
0,75	1,4676	3704	1,0967	1356	0,9294	754	0,8752	607
1,00	1,2561	2115	0,9989	978	0,8695	599	0,8255	497
1,50	1,0153	2408	0,8651	1338	0,7794	901	0,7486	769
2,00	0,8774	1379	0,7759	892	0,7136	658	0,6912	574
2,50	0,7857	917	0,7114	645	0,6642	494	0,6461	451
3,00	0,7194	663	0,6618	496	0,6243	399	0,6096	365
3,50	0,6686	508	0,6222	395	0,5914	329	0,5793	303
4,00	0,6280	406	0,5896	326	0,5638	276	0,5535	258
4,50	0,5947	333	0,5622	274	0,5402	236	0,5313	222
5,00	0,5667	280	0,5387	235	0,5196	206	0,5119	194
6,0	0,5219	448	0,5003	384	0,4854	342	0,4793	326
7,0	0,4873	346	0,4699	304	0,4579	275	0,4529	264
8,0	0,4595	278	0,4451	248	0,4351	228	0,4310	219
9,0	0,4365	230	0,4244	207	0,4158	193	0,4123	187
10,0	0,4171	194	0,4066	178	0,3992	166	0,3962	161

$\frac{l}{h}$	$t=1,50$; $2\sqrt{1+t^2}-3,60555$	Différences.	$t=1,75$; $2\sqrt{1+t^2}-4,03113$	Différences.	$t=2$ sur 1; $2\sqrt{1+t^2}-4,47214$	Différences.
0,00	1,0216		0,9526		0,8976	
0,25	0,9438	778	0,8899	627	0,8458	518
0,50	0,8822	616	0,8386	513	0,8022	436
0,75	0,8317	505	0,7957	429	0,7648	374
1,00	0,7896	421	0,7592	365	0,7330	318
1,50	0,7226	670	0,7001	591	0,6804	526
2,00	0,6712	514	0,6537	464	0,6380	424
2,50	0,6303	409	0,6162	375	0,6035	345
3,00	0,5967	336	0,5851	311	0,5745	290
3,50	0,5686	281	0,5587	264	0,5497	248
4,00	0,5443	243	0,5359	228	0,5282	215
4,50	0,5233	210	0,5161	198	0,5093	189
5,00	0,5049	184	0,4985	176	0,4925	168
6,0	0,4738	311	0,4687	298	0,4639	286
7,0	0,4484	254	0,4443	244	0,4403	236
8,0	0,4272	212	0,4237	206	0,4204	199
9,0	0,4091	181	0,4061	176	0,4033	171
10,0	0,3934	157	0,3909	152	0,3884	149

Valeurs du second facteur $\left(\frac{0,00040102}{I}\right)^{\frac{11}{53}}$

Pente I.	2ᵉ facteur.	Différences.	Pente I.	2ᵉ facteur.	Différences.
0,000 020	1,863	19	0,000 200	1,1553	116
21	1,844	17	210	1,1437	110
22	1,827	17	220	1,1327	104
23	1,810	16	230	1,1223	99
24	1,794	15	240	1,1124	94
25	1,779	14	250	1,1030	89
26	1,765	14	260	1,0941	85
27	1,751	13	270	1,0856	82
28	1,738	13	280	1,0774	78
29	1,725	12	290	1,0696	75
0,000 030	1,713	12	0,000 300	1,0621	72
31	1,701	11	310	1,0549	69
32	1,690	11	320	1,0480	67
33	1,679	10	330	1,0413	64
34	1,669	10	340	1,0349	63
35	1,659	10	350	1,0286	60
36	1,649	9	360	1,0226	57
37	1,640	9	370	1,0169	56
38	1,631	9	380	1,0113	55
39	1,622	9	390	1,0058	53
0,000 040	1,613	8	0,000 400	1,0005	51
41	1,605	8	410	0,9954	50
42	1,597	8	420	0,9904	48
43	1,589	7	430	0,9856	47
44	1,582	7	440	0,9809	45
45	1,575	8	450	0,9764	45
46	1,567	7	460	0,9719	43
47	1,560	6	470	0,9676	42
48	1,554	7	480	0,9634	41
49	1,547	7	490	0,9593	41
0,000 050	1,540	30	0,000 500	0,9552	187
55	1,510	27	550	0,9365	167
60	1,483	24	600	0,9198	152
65	1,459	22	650	0,9046	138
70	1,437	21	700	0,8908	126
75	1,416	19	750	0,8782	117
80	1,397	17	800	0 8665	109
85	1,380	16	850	0,8556	101
90	1,364	16	900	0,8455	94
95	1,348	14	950	0,8361	88
0,000 100	1,334	27	0,001 000	0,8273	164
110	1,307	23	1 100	0,8109	144
120	1,284	21	1 200	0,7965	131
130	1,263	19	1 300	0,7834	120
140	1,244	18	1 400	0,7714	109
150	1,226	16	1 500	0,7605	101
160	1,210	15	1 600	0,7504	94
170	1,195	14	1 700	0,7410	88
180	1,181	13	1 800	0,7322	81
190	1,168	13	1 900	0,7241	77
0,000 200	1,155		0,002 000	0,7164	

Valeurs du troisième facteur $Q^{\frac{21}{53}}$

Débit Q	$Q^{\frac{21}{53}}$	Différences.	Débit Q	$Q^{\frac{21}{53}}$	Différences.	Débit Q	$Q^{\frac{21}{53}}$	Différences.
m. cub.			m. cub.			m cub.		
0,020	0,2122	42	0,200	0,5285	103	2,00	1,316	26
21	0,2164	40	0,210	0,5388	100	2,10	1,342	25
22	0,2204	39	0,220	0,5488	98	2,20	1,367	24
23	0,2243	38	0,230	0,5586	95	2,30	1,391	24
24	0,2281	38	0,240	0,5681	93	2,40	1,415	23
25	0,2319	36	0,250	0,5774	90	2,50	1,438	22
26	0,2355	35	0,260	0,5864	88	2,60	1,460	22
27	0,2390	35	0,270	0,5952	86	2,70	1,482	22
28	0,2425	34	0,280	0,6038	85	2,80	1,504	21
29	0,2459	33	0,290	0,6123	83	2,90	1,525	20
0,030	0,2492	33	0,300	0,6206	81	3,00	1,545	20
31	0,2525	32	0,310	0,6287	80	3,10	1,565	20
32	0,2557	31	0,320	0,6367	78	3,20	1,585	20
33	0,2588	31	0,330	0,6445	77	3,30	1,605	19
34	0,2619	30	0,340	0,6522	75	3,40	1,624	19
35	0,2649	30	0,350	0,6597	74	3,50	1,643	18
36	0,2679	29	0,360	0,6671	73	3,60	1,661	18
37	0,2708	29	0,370	0,6744	72	3,70	1,679	18
38	0,2737	28	0,380	0,6816	70	3,80	1,697	18
39	0,2765	28	0,390	0,6886	69	3,90	1,715	17
0,040	0,2793	28	0,400	0,6955	69	4,00	1,732	17
41	0,2821	27	0,410	0,7024	67	4,10	1,749	17
42	0,2848	26	0,420	0,7091	66	4,20	1,766	16
43	0,2874	27	0,430	0,7157	66	4,30	1,782	17
44	0,2901	26	0,440	0,7223	65	4,40	1,799	16
45	0,2927	25	0,450	0,7288	63	4,50	1,815	16
46	0,2952	26	0,460	0,7351	63	4,60	1,831	15
47	0,2978	24	0,470	0,7414	62	4,70	1,846	16
48	0,3002	25	0,480	0,7476	62	4,80	1,862	15
49	0,3027	24	0,490	0,7538	60	4,90	1,877	15
0,050	0,3051	118	0,500	0,7598	293	5,00	1,892	73
55	0,3169	111	0,550	0,7891	277	5,50	1,965	69
60	0,3280	106	0,600	0,8168	263	6,00	2,034	65
65	0,3386	101	0,650	0,8431	251	6,50	2,099	63
70	0,3487	96	0,700	0,8682	241	7,00	2,162	60
75	0,3583	93	0,750	0,8923	231	7,50	2,222	57
80	0,3676	89	0,800	0,9154	222	8,00	2,279	56
85	0,3765	87	0,850	0,9376	215	8,50	2,335	53
90	0,3852	83	0,900	0,9591	208	9,00	2,388	52
95	0,3935	81	0,950	0,9799	201	9,50	2,440	50
0,100	0,4016	154	1,000	1,0000	385	10,0	2,490	96
0,110	0,4170	147	1,100	1,0385	364	11,0	2,586	91
0,120	0,4317	139	1,200	1,0749	348	12,0	2,677	86
0,130	0,4456	132	1,300	1,1097	329	13,0	2,763	82
0,140	0,4588	128	1,400	1,1426	317	14,0	2,845	79
0,150	0,4716	122	1,500	1,1743	304	15,0	2,924	76
0,160	0,4838	117	1,600	1,2047	293	16,0	3,000	73
0,170	0,4955	114	1,700	1,2340	283	17,0	3,073	70
0,180	0,3069	110	1,800	1,2623	273	18,0	3,143	68
0,190	0,5179	106	1,900	1,2896	265	19,0	3,211	66
0,200	0,5285		2,000	1,3161		20,0	3,277	

28. *Formule graphique dont on peut se servir avantageusement au lieu de la troisième table.*

Mais on peut rendre l'opération encore plus brève en la faisant graphiquement. On a tracé à la *fig.* 6, *Pl. XIII*, au moyen de la première table, sept courbes dont chacune est relative à l'une des grandeurs du talus t, et qui ont, à l'échelle du dixième, pour ordonnées les hauteurs d'eau h et pour abscisses les demi-largeurs $\frac{h}{2}\left(\frac{l}{h}+2t\right)$ de la surface de l'eau dans tous les canaux rectangles ou trapèzes pour lesquels on a

$$\left(\frac{0{,}00040102}{\text{I}}\right)^{\frac{11}{53}} \text{Q}^{\frac{21}{53}} = 1, \quad \text{ou} \quad \text{I} = 0{,}00040102\,\text{Q}^{\frac{21}{11}},$$

tels que sont, par exemple, les canaux débitant 1 mètre cube d'eau par seconde sous une pente de $0^{m},00040102$ par mètre, ou 1/2 mètre cube, 2 mètres cubes sous des pentes de 0,0001068, de 0,001506, etc.

Ces courbes donnent immédiatement les profils transversaux d'autant de canaux que l'on veut, capables d'un débit donné quelconque sous une pente donnée aussi quelconque. Ainsi, par un point M pris arbitrairement sur l'une de ces courbes, celle, par exemple, relative au talus de 1 1/2 sur 1, si nous menons une perpendiculaire MK à l'axe des ordonnées OK, et, jusqu'à la rencontre de celui des abscisses OA, une droite MA parallèle à celle des droites tracées sur la figure qui est à l'inclinaison de 1 1/2 sur 1, le tra-

pèze KCAM représentera, à l'échelle de 1 sur 10, la moitié de la section d'eau d'un canal ayant les débits qu'on vient de dire, sous les pentes correspondantes.

D'ou il suit que cette même figure représentera la moitié du profil d'eau d'un canal débitant une *quantité* d'eau donnée quelconque Q sous une pente I aussi quelconque et donnée, en multipliant ses dimensions par

$$\left(\frac{0{,}00040102}{I}\right)^{\frac{11}{53}} Q^{\frac{22}{53}}.$$

ou *en la considérant comme tracée à l'échelle de* 1 *pour* 10 *fois ce produit*, dont les deux facteurs sont fournis par les deux dernières tables de l'article précédent.

En prenant d'autres points que M sur la même *courbe*, et menant de même par ces points des droites à 1 1/2 sur 1 et des droites perpendiculaires à l'axe des ordonnées h, on aura, au moyen d'une facile réduction d'échelle, autant de profils d'eau que l'on peut en désirer, débitant Q d'eau par seconde avec la pente I, et destinés à être comparés entre eux sur les profils en travers du sol, pour choisir avec connaissance de cause celui qui remplira le mieux la condition si essentielle de la plus grande économie.

Si le canal doit avoir des talus d'une inclinaison intermédiaire entre celles indiquées, on intercalera facilement une nouvelle courbe tracée au crayon, en divisant proportionnellement les arcs transversaux qui joignent les points répondant aux diverses grandeurs du rapport $\frac{l}{h}$ (*).

(*) On voit, à la même figure, une autre courbe trans-

29. *Application.*

Comme exemple de l'usage de ces tables ou de ce tracé, supposons qu'il s'agisse de transporter 2me,28 d'eau par seconde, par un canal en pente de 0^{m},000257 par mètre, avec des talus de 1 1/2 sur 1. La deuxième table donne, pour I=0,000257, en se servant de la colonne des différences :

$$\left(\frac{0{,}000401}{I}\right)^{\frac{11}{53}} = 1{,}1030 - \frac{7}{10}\,.\,0{,}0089 = \;.\;.\;.\;.\; 1{,}0968$$

La troisième donne, pour Q = 2,28 :

$$Q^{\frac{21}{53}} = 1{,}367 + \frac{8}{10}\,0{,}024 = \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; 1{,}386$$

$$\text{Leur produit : } \left(\frac{cQ^{\frac{21}{11}}}{I}\right)^{\frac{11}{53}} \text{ ou } \left(\frac{cQ^{m}}{I}\right)^{\frac{1}{2m+1}} = 1{,}5201$$

est le nombre constant par lequel il suffit de multiplier la première table de l'article 27 pour avoir de suite autant de systèmes que l'on veut de valeurs de la hauteur d'eau h et de la largeur au plafond l, satisfaisant à la question. Supposons, par exemple, que le talus doive être de 1 1/2 sur 1 ; la colonne relative à ce talus, multipliée par 1,5201, donnera :

---

versale tournant en haut sa convexité. Elle joint entre eux les points des courbes principales qui, pris pour le point arbitraire M, donnent, pour chaque talus, la section de moindre surface (note de l'article 24). La position de ces points explique comment, entre $\frac{l}{h}=0{,}50$ et $\frac{l}{h}=10$, la surface ω ne varie pas, pour chaque grandeur du talus t, de plus de 1/8.

Pour $\frac{l}{h} = 0{,}50$;	$h = 1^m{,}339$,	d'où $l = 0^m{,}6695$
$= 1$	$1^m{,}200$	$1^m{,}200$
$= 2$	$1^m{,}020$	$2^m{,}040$
$= 3$	$0^m{,}907$	$2^m{,}721$
$= 4$	$0^m{,}827$	$3^m{,}308$
$= 5$	$0^m{,}767$	$3^m{,}835$
$= 7$	$0^m{,}682$	$4^m{,}771$
$= 10$.	$0^m{,}598$	$5^m{,}980$

et une infinité d'autres systèmes, car on peut aussi multiplier par 1,5201 des nombres intercalés.

On ne donne pas le dessin des profils qui en résultent, parce qu'ils ne seraient qu'une reproduction de ceux tels que KOAM, que l'on peut tirer de la *figure* 6, dont l'usage eût donné les mêmes valeurs de *h* jusqu'aux centimètres.

Il n'est pas difficile de voir, en y rapportant deux levées latérales de $1^m{,}50$ de largeur en couronne et $0^m{,}40$ d'élévation au-dessus de l'eau, que ces huit profils exigent à très-peu de chose près le même déblai supposé capable de fournir tout juste au remblai des digues sur un terrain sans pente transversale. Cela vient de ce que l'économie, bien que réelle, qu'offrent à cet égard les larges sections (art. 24, 2ᵉ note) est très-faible jusqu'à $\frac{l}{H} = 12$ (*).

Mais, nous le répétons, ce n'est pas le cube du déblai à faire dans le cas abstrait d'un terrain sans

(*) Si l'on représente par *a* la largeur des digues en couronne, par H leur hauteur au-dessus du plafond, par *t* le talus de la cuvette, t_1 le talus extérieur des digues, la hauteur *x* du déblai ayant un cube égal à celui du remblai,

pente transversale et possédant exactement la pente longitudinale I, qui devra déterminer le choix de la section parmi celles dont on vient de donner les dimensions. Il faudra (art. 25) avoir égard aux autres considérations. Ce qu'il y aura de plus simple à faire pour cela sera de tailler de petits gabarits en papier sur les divers profils ainsi obtenus pour la section d'eau en y rapportant les levées, afin de les appliquer successivement sur les profils en travers réels du terrain. On pourra évaluer ainsi, au moins par un aperçu rapide, la dépense dans plusieurs hypothèses en prenant en considération la déclivité transversale variable et les inégalités du profil longitudinal, la dépense des transports de terre en travers et en long, les contre-fossés à ouvrir, le prix des terrains à occuper sur une largeur plus ou moins grande, etc.,

---

moins une quantité C supposée fournie par le contre-fossé, est donnée par l'équation :

$$z(l+tz)+C=2(H-z)\left[a+\frac{t+t_1}{2}(H-z)\right],$$

d'où, en faisant

$$\frac{2H(t+t_1)+2a+l}{2t_1}=A,\quad \frac{H^2(t+t_1)+2aH-C}{t_1}=B$$

l'on tire $z=A-\sqrt{A^2-B}$, et par conséquent le déblai de la cuvette :

$$z(l+tz)=-Bt+(l+2At)(A-\sqrt{A^2-B}).$$

Dans le cas présent où $C=0$, $t=t_1=1,5$, $H=h+0,40$, $a=1,50$, on trouve successivement pour les cubes de déblai répondant à $\frac{l}{h}=0,50$; 3; 10;

$$z(l+tz)=2^{mc},772;\quad 2,766;\quad 2,70.$$

Ce qui approche de l'égalité, comme nous venons de le dire.

et l'on s'arrêtera à celle des sections essayées pour laquelle la dépense paraîtra la plus faible, les autres convenances étant remplies.

Observons que ce tâtonnement graphique, dont il est impossible de formuler le résultat d'une manière générale, est indispensable, quelle que soit la méthode de calcul dont on se serve. Les petites tables, basées sur notre formule monôme, abrégeront singulièrement ce qui doit le précéder, et permettront de faire porter les essais sur un grand nombre de profils d'eau.

Sans ce secours, la longueur rebutante du calcul des systèmes de valeurs conjuguées de h et de l serait cause qu'on se bornerait à en essayer un ou deux, et l'économie serait sacrifiée comme elle l'est trop souvent. Il nous a paru essentiel d'insister sur une méthode de calcul qui, sans donner de solution générale, puisqu'il n'en saurait exister, permet de peser toutes les considérations sans en omettre aucune, et de dresser de bons projets d'ouvrages qui intéressent à un haut degré l'avenir de notre agriculture et de notre industrie.

§ 3. Diamètres des tuyaux de conduite.

30. *Solution des problèmes sur les conduites d'eau.*

Bien que la forme monôme cU^m, donnée à l'expression de la hauteur fluide représentative du frottement des parois, se justifie surabondamment en ce qui regarde les tuyaux, par une conformité aux expériences que l'on ne saurait obtenir

(art. 20) de la forme binôme $aU + bU^2$, il est bon de faire voir qu'elle se prête à la facilité des solutions, mieux que celles-ci, et tout aussi bien que celle bU^2 à laquelle divers auteurs la réduisent en sacrifiant volontairement l'exactitude à la simplicité.

Lorsque le problème est de déterminer la charge JL consommée par le frottement des parois d'une conduite de longueur L dont on connaît le diamètre D et le débit Q par seconde, il peut être résolu de suite, quelle que soit la formule, en se servant seulement de tables de $\frac{DJ}{4}$ et U comme celles de l'art. 21 : car on a immédiatement la vitesse $U = \frac{Q}{\frac{1}{4}\pi D^2}$; et, en cherchant dans la table la valeur $\frac{DJ}{4}$ correspondante, on en déduit J et par suite JL.

Mais, de même que pour les canaux (art. 24 à 29), le problème est plus implicite lorsque *c'est le diamètre de la conduite que l'on cherche* au moyen de sa pente J et de son débit Q. Aussi, pour le déterminer sans résoudre l'équation du cinquième degré résultant de la substitution de $\frac{4Q}{\pi D^2}$ à la place de U dans l'équation de Prony $\frac{DJ}{4} = aU + bU^2$, M. Fourneyron, multipliant cette équation élevée au carré par celle $Q = \frac{1}{4}\pi D^2 U$, a déduit de celle $J^2Q = 4\pi U(aU + bU^2)^2$ qui en provient, une table donnant, pour les diverses valeurs du produit J^2Q, les valeurs correspondantes

de la vitesse U (*). L'usage de cette table, lorsque J et Q sont donnés, permet d'avoir U, et, par suite, le diamètre, calculé au moyen de sa valeur $D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi U}}$.

Notre formule $\frac{DJ}{4} = cU^m = 0{,}00029557\, U^{\frac{12}{7}}$ fournit directement une expression de l'inconnue D en fonction des quantités connues Q et J; car en y mettant $\frac{4Q}{\pi D^2}$ pour U, on en tire :

$$(40) \qquad D = \left[4\left(\frac{4}{\pi}\right)^m c\right]^{\frac{1}{2m+1}} \left(\frac{Q^m}{J}\right)^{\frac{1}{2m+1}} = 0{,}2396687 \left(\frac{Q^{12}}{J^7}\right)^{\frac{1}{31}}$$

calculable par logarithmes, et dont on obtiendra plus promptement la valeur par la simple multiplication de deux nombres tirés de deux petites tables à construire comme celles deuxième et troisième de l'art. 27, et donnant, l'une, les valeurs de $Q^{\frac{12}{31}}$, l'autre celles de $\frac{0{,}2396687}{J^{7/31}}$.

Nous donnerons plus tard ces tables (**) et d'autres fournissant les deux facteurs de

$$(41) \qquad J = Q^m \cdot 4\left(\frac{4}{\pi}\right)^m c D^{-2m-1},$$

(*) Comptes rendus de l'Académie des sciences, novembre 1843, t. XVII, p. 867.

(**) Voir à la fin du mémoire.

et même leurs produits tout faits, afin de remplacer les tables de J, Q, D, U de MM. Mary et Morin, qui ont été dressées avec celle de Prony.

Lorsque, au lieu d'une seule conduite, on doit en établir un réseau pour la distribution de l'eau d'une source entre plusieurs réservoirs d'alimentation des fontaines d'une ville, la détermination des conditions d'établissement se réduit, comme l'on sait, à la solution, de proche en proche, de plusieurs problèmes comme les deux dont venons de parler.

Et si, pour avoir les diamètres satisfaisant à la moindre dépense, sans être obligé de faire d'abord une suite d'hypothèses sur ceux de la conduite principale, on veut traiter analytiquement le problème du minimum du poids total de fonte, comme a fait M. Bresse dans ses répétitions à l'École des ponts et chaussées, il est bien facile de voir que l'on y parviendra aussi bien en partant de $\frac{DJ}{4} = cU^m$ que de l'équation inexacte $\frac{DJ}{4} = bU^2$; car, en mettant, dans la suite des équations posées entre les hauteurs de charge conservées et perdues dans chaque partie de la conduite et des branchements, des valeurs telles que (41) à la place des *pentes* J, on aura des équations qui seront toutes du premier degré entre les puissances $-2m-1$ des diamètres inconnus, ce qui permet l'élimination d'un nombre de ces diamètres égal à celui des équations, tout comme lorsque l'on a -5 au lieu de $-2m-1$.

§ 4. Comparaison des avantages de la réunion ou de la séparation de deux écoulements d'eau.

31. *Problème relatif à un desséchement de marais.*

On suppose qu'un marais à dessécher reçoit par seconde, des terrains qui lui sont supérieurs, une quantité d'eau. . . . . q
que l'on peut faire écouler, en la dérivant, sous une pente. i

Et que les eaux propres à ce marais (eaux de pluie, de source et de filtration) ont, par seconde, un volume. . . . . q'
que l'on ne peut faire écouler que sous une pente plus faible. . . . . i'

On demande s'il y a économie à faire écouler ces eaux *extérieures* et ces eaux *intérieures* par deux canaux séparés ayant les pentes i et i', ou à les réunir dans un même canal d'évacuation, qui ne pourra avoir que la pente la plus petite i'?

Soient, pour cela, ω et ω' les sections qui seraient à donner aux canaux séparés, Ω la section que devrait avoir le canal unique auquel nous supposerons, pour plus de généralité, une pente I différente de i. Si p, p', P sont respectivement les prix auxquels reviendront ces trois canaux, par mètre carré des sections ω, ω', Ω, l'économie qu'offrira la séparation des deux canaux sur leur réunion sera représentée par le rapport $\dfrac{P\Omega}{p\omega+p'\omega'}$.

Si les sections ω, ω', Ω sont semblables, leurs périmètres mouillés χ, χ', X sont proportionnels

aux racines carrées de ces sections, et l'on a, k étant un nombre

$$\frac{\chi}{\omega^{1/2}} = \frac{\chi'}{\omega'^{1/2}} = \frac{X}{\Omega^{1/2}} = k.$$

On a de plus, u, u', U étant les vitesses de l'eau dans les trois canaux:

$$\frac{\omega}{\chi} i = c u^m, \quad \frac{\omega'}{\chi'} i' = c u'^m, \quad \frac{\Omega}{X} \mathrm{I} = c \mathrm{U}^m.$$

$$q = \omega u, \quad q' = \omega' u', \quad q + q' = \Omega \mathrm{U}.$$

D'où, en éliminant u et χ:

$$\omega = q^{\frac{2m}{2m+1}} \left(\frac{ck}{i}\right)^{\frac{2}{2m+1}},$$

et deux expressions analogues pour ω' et Ω. Substituant, on a pour l'inverse du rapport cherché:

$$\frac{p\omega + p'\omega'}{\mathrm{P}\Omega} = \frac{p}{\mathrm{P}} \left[\left(\frac{q}{q+q'}\right)^m \cdot \frac{\mathrm{I}}{i} \right]^{\frac{2}{2m+1}} +$$

$$+ \frac{p'}{\mathrm{P}} \left[\left(\frac{q'}{q+q'}\right)^m \cdot \frac{\mathrm{I}}{i'} \right]^{\frac{2}{2m+1}},$$

expression dans laquelle il faut faire $\mathrm{I} = i'$, si, comme cela a lieu en général, le canal unique, évacuant à la fois les eaux extérieures et les eaux intérieures, doit être fait dans le même emplacement où l'on aurait creusé le canal destiné à celles-ci seules. Supposons, de plus, $\mathrm{P} = p'$, bien que, dans un marais, le creusement d'un canal plus profond soit sensiblement plus coûteux, et remplaçons m par sa valeur $\frac{21}{11}$, nous avons:

$$\frac{p\omega+p'\omega'}{P\Omega}=\frac{p}{p'}\left(\frac{i'}{i}\right)^{\frac{22}{33}}\left(\frac{q}{q+q'}\right)^{\frac{42}{33}}+\left(\frac{q'}{q+q'}\right)^{\frac{48}{33}}.$$

Comme application de cette formule, supposons $p=p'$, $q=q'$, $i=2i'$, nous trouverons :

$$1,01035\,;$$

D'où l'on voit que lorsque le prix d'exécution est le même, par unité superficielle de la section d'eau, pour un canal d'évacuation des eaux intérieures et pour le canal de détournement des eaux extérieures, et lorsque le volume de ces deux espèces d'eaux est le même, il faut que la pente disponible pour le canal de détournement soit plus que double de la pente dont on peut disposer pour le canal d'évacuation pour qu'il y ait avantage à séparer ces deux canaux.

Si, comme il arrive plus souvent, le prix p relatif au canal de détournement est moindre que le prix p' relatif au canal d'évacuation, et la quantité d'eau q à détourner est plus forte que celle q' à évacuer, l'avantage de séparer les deux canaux se fera sentir bien avant que le premier ait une pente double du second. Aussi la plupart des ingénieurs, à l'imitation de ce que Van-Ens a fait à Arles, opèrent cette séparation.

La formule binôme $au+bu^2$ n'aurait pu donner une expression de l'avantage $\frac{P\Omega}{p\omega+p'\omega'}$, de la séparation, comme a fait notre formule monôme cu^m.

32. *Problème analogue relatif aux tuyaux.*

Une expression de la même forme que celle de l'article précédent serait facilement obtenue

pour la comparaison de l'avantage de séparer ou de réunir deux tuyaux de conduite d'eau pour lesquels on dispose de chutes différentes.

§ 8. Remous, ou gonflement produit dans un cours d'eau jusqu'à une distance quelconque en amont d'un barrage qui relève ses eaux d'une hauteur connue en un point déterminé.

33. *Diverses solutions du problème du remous. Comment la plus expéditive peut être rendue exacte et plus générale.*

Ce problème important pour l'établissement des irrigations, de la navigation et des usines est résoluble numériquement, comme on sait, au moyen de l'équation du mouvement permanent des eaux courantes donnée pour la première fois en 1828 par M. Bélanger (*) en effectuant une suite de calculs de proche en proche dont il a donné le type pour des courants dont le lit est d'une forme constante, et qui ont été étendus par M. Vauthier à des courants d'une figure variable quelconque (**).

M. Dupuit a donné, en 1848 (***) une table qui permet de le résoudre bien plus expéditivement, mais qui suppose :

1° Que l'on peut négliger (art. 1) le terme aU du second membre de la formule Prony :

$$RI = aU + bU^2;$$

(*) Essai sur la solution numérique de quelques problèmes relatifs au mouvement permanent des eaux courantes.

(**) Annales des ponts et chaussées, 1836.

(***) Etudes théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes.

2° Que le lit du courant est assimilable à un canal rectangulaire;

3° Qu'il est assez large par rapport aux profondeurs d'eau pour pouvoir supposer le périmètre mouillé χ *égal à la largeur*, ou ce qui revient au même, le rayon moyen ou quotient $\frac{\omega}{\chi}$ égal à la profondeur;

4° Enfin, que l'on peut négliger le double de la hauteur $\frac{U^2}{2g}$ due à la vitesse du courant, devant sa profondeur, ou, ce qui revient au même, *que l'on peut se dispenser de tenir compte de l'inertie des tranches fluides*, ou de la variation de leur force vive quand elles passent d'une position à l'autre.

Nous allons voir que l'on peut obtenir des tables de remous aussi facilement applicables en se passant de ces diverses hypothèses restrictives, savoir de la première en se servant de notre formule monôme $\frac{\omega}{\chi} I = cU^m$; de la deuxième et de la troisième en intégrant l'équation différentielle du mouvement au moyen de la formule de quadrature de Thomas Simpson, qui donne des résultats aussi approchés que les intégrales par série de M. Dupuit; enfin de la quatrième hypothèse du même ingénieur en ajoutant une colonne qui permet de tenir facilement compte de l'influence de l'inertie ou de la variation de force vive.

On verra même (art. 46) que les tables, ou le tracé graphique qui peut les remplacer approximativement (art. 42) peuvent servir aussi, dans la supposition où la résistance des parois serait

reconnue un peu plus forte, pour même vitesse moyenne, dans le mouvement varié que dans le mouvement uniforme.

En sorte que, sans recourir à ces équations empiriques de la courbe de remous, qui ont été essayées à plusieurs reprises et qui peuvent conduire à d'énormes mécomptes et à des absurdités, le problème pratique du remous pourra, lorsque le cours d'eau ne sera pas très-irrégulier, être résolu en peu d'instants par des tables applicables à tous les cas, aussi exactes que peut le permettre l'état actuel des connaissances expérimentales que l'on possède en hydraulique, et même indépendantes d'une grande partie des erreurs qui ont pu affecter les expériences de Du Buat et des hydrauliciens allemands et italiens (art. 7 et 13) sur lesquelles se base la formule $\frac{\omega}{\chi} I = cU^m$, car, comme on verra, c n'entre point dans les calculs, et l'exposant m n'y influe pas assez pour qu'un écart absolu de 1/30 ou 1/40 sur sa valeur altère les résultats d'une manière bien sensible.

34. *Formule générale du relèvement ou remous.*

Établissons d'abord, en peu de mots, l'équation du mouvement permanent non uniforme des eaux courantes.

Si l'on nomme :

Π le poids du mètre cube d'eau,

u la vitesse moyenne de ce fluide écoulé à travers une tranche dont la section est ω et le périmètre mouillé χ; en sorte que $\Pi\omega u$ est le poids écoulé par cette tranche en une seconde,

ds l'épaisseur de cette tranche infiniment mince, ou la portion de la longueur s du courant qui est occupée par elle,

dz sa pente absolue de superficie,

$\varphi(u)$ la hauteur du prisme fluide dont le poids représente la résistance ou le frottement moyen des parois sur une surface égale à sa base, et par conséquent $\Pi\varphi(u)$ ce frottement par mètre carré de leur surface χds en contact avec la tranche,

α le coefficient, peu différent de l'unité, par lequel il faut multiplier la force vive due à la vitesse moyenne d'une tranche pour avoir la force vive effective de cette tranche, eu égard à l'inégalité des vitesses des différents filets;

Comme l'action de la pesanteur pour enfoncer une molécule d'eau à une profondeur plus grande au-dessous de la surface est toujours compensée, d'après le principe d'Archimède, par la pression des molécules environnantes, le travail moteur de la pesanteur sur la tranche en mouvement n'est dû qu'à la descente dz de la surface, et l'on a pour l'égalité entre la demi-force vive acquise par la masse $\frac{\Pi\omega u}{g}$ écoulée pendant l'unité de temps, en parcourant l'espace u, et le travail tant moteur que résistant qui s'exerce sur elle.

$$d\left(\frac{\Pi\omega u}{g}\cdot\alpha\frac{u^2}{2}\right)=\Pi\omega u\,.\,dz-\chi ds\,.\,\Pi\varphi(u)\,.\,u.$$

Ou, en divisant par le débit $\Pi\omega u$ qui ne varie pas quand on passe d'une tranche à l'autre :

$$(42)\qquad dz=\alpha\frac{udu}{g}+\frac{\chi}{\omega}\varphi(u)ds.$$

Représentons, de plus, par

h la profondeur d'eau, qui est variable d'une section à l'autre,

i la pente du fond, rapportée à l'unité de la longueur s du lit, en sorte que l'on aura, comme l'a remarqué M. Bélanger :

$$dz = ids - dh.$$

H ce que le même auteur a appelé la *hauteur du régime uniforme*, c'est-à-dire la profondeur constante d'un courant uniforme de même débit, ayant le même plafond et les mêmes talus que celui dont nous nous occupons, et où la surface de l'eau a par conséquent la pente i. Ce sera, dans la question qui nous occupe, le cours d'eau dans l'état naturel, ou avant le relèvement par un barrage,

U la vitesse moyenne constante dans ce courant,

Ω sa section,

X son périmètre mouillé.

On aura, puisque la quantité écoulée par seconde dans les deux courants est la même :

$$\omega u = \Omega U, \quad \text{d'où} \quad u = \frac{\Omega U}{\omega}, \quad du = -\frac{\Omega U}{\omega^2}.$$

Subsituant pour dz, u et du ces valeurs dans (42), on a :

$$ids - dh = -\frac{\alpha}{g}\,\frac{\Omega U}{\omega}.\frac{\Omega U}{\omega^2}d\omega + \frac{\chi}{\omega}ds\varphi\left(\frac{\Omega U}{\omega}\right),$$

ou

$$(43) \qquad ds = dh.\frac{1 - \alpha\frac{U^2}{g}\frac{\Omega^2}{\omega^3}\frac{d\omega}{dh}}{1 - \frac{\chi}{\omega}\varphi\left(\frac{\Omega U}{\omega}\right)}.$$

Si nous supposons que la pente du fond soit constante, ainsi que la section du lit sauf la hauteur d'eau, ω et χ sont fonctions de h. On peut donc intégrer cette équation soit exactement, soit par approximation, et l'on aura s en h, ou les distances correspondantes aux relèvements $h-\mathrm{H}$.

On ne saurait, en mettant pour φ l'expression binôme $a\dfrac{\Omega \mathrm{U}}{\omega}+b\left(\dfrac{\Omega \mathrm{U}}{\omega}\right)^2$, en tirer des tables usuelles, à moins de les composer d'autant de séries de tableaux que l'on peut attribuer de valeurs, soit à la pente de fond i, soit à la vitesse U qui est liée à i par l'équation de régime uniforme; ce qui serait impraticable.

Il en est autrement si l'on met pour φ, dans le dénominateur, notre expression monôme:

$$cu^m=\left(\frac{\Omega}{\omega}\right)^m . c\mathrm{U}^m,$$

car dans cette dernière expression on peut remplacer $c\mathrm{U}^m$ par sa valeur $\dfrac{\Omega}{\mathrm{X}}\,i$. Alors la vitesse U n'entre plus au dénominateur du second membre de l'équation différentielle; et, la pente i affectant les deux termes du dénominateur, on peut l'en chasser, comme a fait M. Dupuit, en multipliant les deux membres par i. L'équation précédente (plus générale que la sienne) devient alors

$$(44)\qquad i\,ds=dh\,\frac{1-a\dfrac{\mathrm{U}^2}{g}\dfrac{\Omega^2}{\omega^2}\dfrac{d\omega}{dh}}{1-\left(\dfrac{\Omega}{\omega}\right)^{m+1}\dfrac{\chi}{\mathrm{X}}}.$$

En sorte que l'on peut, lorsque l'on connaît la

forme des fonctions χ et ω en h, intégrer et calculer des tables peu volumineuses donnant non plus s mais is, et s'appliquant par conséquent à toutes les grandeurs de la pente i, comme à toutes les grandeurs de la vitesse U, dont le carré U^2 affectera *seulement comme multiplicateur* les nombres qui proviendront du deuxième terme du numérateur.

35. *Application à un canal rectangle ou trapèze.*

Pour appliquer ce calcul de tables à des lits prismatiques à section rectangle ou trapèze, appelons :

l la largeur au plafond, supposée constante;

t les talus aussi constants; en sorte que

$$\omega = h(l+ht), \quad \chi = l + 2h\sqrt{1+t^2},$$
$$\Omega = H(l+Ht), \quad X = l + 2H\sqrt{1+t^2}.$$

Faisons encore

$$(45) \begin{cases} h - H = y; \quad \dfrac{H}{l+Ht} = r, \\ \dfrac{2H\sqrt{1+t^2}}{l+2H\sqrt{1+t^2}} = \dfrac{2r\sqrt{1+t^2}}{1-rt+2r\sqrt{1+t^2}} = r'. \end{cases}$$

C'est-à-dire désignons par

y le gonflement, ou le relèvement de la surface de l'eau, à l'endroit dn courant où l'abscisse horizontale est s;

r le rapport de la profondeur d'eau H à la *largeur moyenne* de l'eau $l+Ht$ dans le courant de régime uniforme;

r' la proportion pour laquelle entrent les parois

latérales ou les talus $H\sqrt{1+t^2}+H\sqrt{1+t^2}$ dans le périmètre mouillé total $l+2H\sqrt{1+t^2}$.

De plus, changeons s en $-s$, ou comptons désormais les longueurs S de l'aval à l'amont, et appelons y_0, s_0 des valeurs correspondantes de y, s, pour un point situé plus en aval que celui (y, s).

L'équation (44) deviendra, en divisant par H et par $l+Ht$ et leurs puissances ses deux membres et les deux termes des fractions qui y entrent, et en intégrant entre le point (s, y) et le point (S_0, y_0) (*):

$$(46)\qquad \frac{i(s-s_0)}{H}=$$

$$=\int_{\frac{y}{H}}^{\frac{y_0}{H}} \frac{d\left(\frac{y}{H}\right)}{1-\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-m-1}\left(1+rt\frac{y}{H}\right)^{-m-1}\left(1+r'\frac{y}{H}\right)}-$$

$$-\frac{gH}{aU^2}\int_{\frac{y}{H}}^{\frac{y_0}{H}} \frac{\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-m}\left(1+rt\frac{y}{H}\right)^{-m}\left(1+rt+2rt\frac{y}{H}\right)d\frac{y}{H}}{1-\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-m-1}\left(1+rt\frac{y}{H}\right)^{-m-1}\left(1+r'\frac{y}{H}\right)}$$

(*) Si l'on avait fait usage de la formule binôme $au+bu^2$ au lieu de la formule monôme cu^m, le second terme des dénominateurs eût été

$$\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-3}\left(1+rt\frac{y}{H}\right)^{-3}\left(1+r'\frac{y}{H}\right)\left[1+\frac{y}{H}\cdot\frac{1+rt\left(1+\frac{y}{H}\right)}{1+\frac{a}{bU}}\right].$$

On reconnaît bien ainsi que, pour avoir $\frac{i(s-s_0)}{H}$ en

36. *Mode du calcul des tables avec cette équation.*

Nous nous en sommes servi pour calculer, en faisant d'abord $s_0 = 0$, $\frac{y_0}{H} = 3$, une suite de grandeurs de $\frac{is}{H}$ pour diverses valeurs successives de $\frac{y}{H}$. Les différences entre ces grandeurs donnent toutes celles de $\frac{i(s - s_0)}{H}$ que l'on peut désirer pour les applications, car le point $s = s_0 = 0$ où nous plaçons ainsi l'origine des distances s comptées de l'aval à l'amont répond, comme l'on voit, à

$$y = 3H.$$

c'est-à-direà un relèvement triple de la profondeur de régime uniforme, et par conséquent plus grand que ceux que l'on a à considérer ordinairement dans la pratique. On verra d'ailleurs (art. 41) comment on peut calculer ce qui arrive avec un relèvement plus considérable.

Les valeurs successives des deux intégrales qui entrent dans le second membre de (46) ont été obtenues, comme nous avons dit, par la méthode de Thomas Simpson. Pour cela, après avoir choisi des grandeur du talus t et du rapport r de la profondeur à la largeur moyenne de l'eau dans l'état

---

fonction de $\frac{y}{H}$, il eût fallu calculer, comme nous venons de dire, autant de tables de valeurs des deux intégrales que l'on peut supposer de valeurs à la vitesse de régime uniforme U.

uniforme, et en avoir déduit le rapport r' (expression 45), nous avons calculé les valeurs successives des deux fonctions de $\frac{y}{H}$ qui multiplient $d\frac{y}{H}$ sous le signe $\int$ pour des valeurs de $\frac{y}{H}$ (*voir* les tableaux art. 37 et 39) que nous avons fait décroître :

De 0,1 en 0,1 entre $\frac{y}{H} = 3$ et $\frac{y}{H} = 1$;
Puis de 0,05 en 0,05 seulement entre 1 et 0,50;
Puis de 0,01 en 0,01 entre 0,50 et 0,05;
Puis de 0,002 en 0,002 entre 0,05 et 0,02;
Enfin de 0,001 en 0,001 entre $\frac{y}{H} =$ 0,02 et $=$ 0,01 (*).

Puis, en appelant Z l'une de ces deux fonctions de $\frac{y}{H}$ engagées sous le signe $\int$, et en représentant par Z_1, Z_2, Z_3, trois de ses valeurs équidistantes ou répondant à trois valeurs $\frac{y_1}{H}, \frac{y_2}{H}, \frac{y_3}{H}$ consécutives et équidifférentes de $\frac{y}{H}$, nous avons pris la portion d'intégrale :

$$\int_{\frac{y_1}{H}}^{\frac{y_3}{H}} Zd\left(\frac{y}{H}\right) = \left(\frac{y_3}{H} - \frac{y_1}{H}\right)\frac{Z_1 + 4Z_2 + Z_3}{6}.$$

Ce qui a permis, par l'addition d'une suite d'ex-

(*) M. Bélanger a conseillé dès 1828, art. 46 de son Mémoire, cette décroissance successive des intervalles choisis entre les hauteurs successives des gonflements, vu que chacun d'eux répond à des distances de plus en plus grandes à mesure qu'on avance vers amont.

pressions semblables, d'obtenir les grandeurs de l'intégrale totale jusqu'à toutes les valeurs de $\frac{y}{H}$ prises de deux en deux. Ensuite nous avons fait les intercalations, ou obtenu les grandeurs de l'intégrale jusqu'aux ordonnées intermédiaires, telles que Z_2, au moyen des deux expressions suivantes, toujours conformes à la méthode Simpson qui consiste à substituer, à l'arc de la courbe ayant les $\frac{y}{H}$ pour abscisses et les Z pour ordonnées, et compris entre les ordonnées Z_1 et Z_3, un arc d'une parabole dont l'axe est parallèle à celui des Z :

$$\int_{\frac{y_1}{H}}^{\frac{y_2}{H}} Zd\left(\frac{y}{H}\right) = \left(\frac{y_2}{H} - \frac{y_1}{H}\right)\left(\frac{Z_1 + 4Z_2 + Z_3}{6} - \frac{Z_3 - Z_1}{4}\right),$$

$$\int_{\frac{y_2}{H}}^{\frac{y_3}{H}} Zd\left(\frac{y}{H}\right) = \left(\frac{y_3}{H} - \frac{y_2}{H}\right)\left(\frac{Z_1 + 4Z_2 + Z_3}{6} + \frac{Z_3 - Z_1}{4}\right).$$

Nous nous sommes assuré de deux manières qu'avec les intervalles choisis entre les valeurs successives de la variable $\frac{y}{H}$, la méthode Simpson donnait des résultats suffisamment exacts :

1° Nous avons pris les intervalles des $\frac{y}{H}$ de 0,01 en 0,01 au lieu de les prendre de 0,05 en 0,05 entre $\frac{y}{H} = 1$ et $\frac{y}{H} = 0,50$, et nous avons, pour le cas $t = 0$, $r = 0$, trouvé les mêmes valeurs pour l'intégrale jusqu'à la cinquième décimale inclusivement. Quelques vérifications analogues ont

été faites pour d'autres valeurs de $\frac{y}{H}$ et de t et r.

2° Nous avons, toujours pour le cas $t=0, r=0$ qui est celui d'un canal dont la largeur est extrêmement grande par rapport à la profondeur, calculé les deux intégralas en les réduisant en séries, et nous avons trouvé des valeurs identiques à celles fournies par la méthode Simpson, jusqu'à la quatrième et plus ordinairement jusqu'à la cinquième, la sixième et même la septième décimale inclusivement; et cela malgré l'accumulation de petites erreurs qui peut résulter de l'addition successive de petites aires partielles par la méthode Simpson (*).

37. *Tables de remous calculées.*

Voici les tables que nous avons ainsi calcu-

(*) Nous croyons devoir donner ici ces deux séries, dont le calcul numérique est plus long que celui qui s'opère par la méthode Simpson, mais qui nous ont servi de vérification. Elles sont analogues à celle de la fin de l'art. 59 et à celle de l'art. 66 du livre de M. Dupuit; celles qui ne sont pas affectées du rapport $\alpha \frac{U^2}{gH}$ n'en diffèrent même que par le coefficient et les exposants. Il est bon de voir ainsi que les calculs analytiques que l'on peut faire sur les eaux courantes, en réduisant le binôme $au+bu^2$ de la formule Prony à son second terme bu^2, sont également possibles et pas plus difficiles en les remplaçant par le monôme cu^m qui représente aussi bien les expériences que le binôme complet.

Lorsque $t=0$, $r=0$, ou $\frac{H}{l}=0$, c'est-à-dire dans le seul cas considéré par M. Dupuit, où la largeur est *infinie*

lées, tant pour un lit rectangulaire que pour

---

par rapport à la profondeur, l'équation (44), avec la notation $h - H = y$, devient

$$\frac{ids}{H} = \frac{1 - \alpha \frac{U^2}{gH}\left(1 + \frac{y}{H}\right)^{-3}}{1 - \left(1 + \frac{y}{H}\right)^{-m-1}} d\frac{y}{H}.$$

Elle se réduit à celle $ids = \frac{(H+y)^3}{(H+y)^3 - H^3} dy$ de M. Dupuit lorsqu'on fait l'exposant $m = 2$ et que l'on néglige, comme il a fait, $\alpha \frac{U^2}{gH} \cdot \frac{H^3}{h^3} = \alpha \frac{u^2}{gh}$ devant 1 (fin de son art. 59, en se reportant à la formule (2) de son art. 56), ou, ce qui revient au même, lorsqu'on efface du second membre de l'équation différentielle du mouvement varié (42) le terme $\alpha \frac{udu}{g}$, ce qui la réduit à celle $\omega dz = \chi ds \varphi(u)$ du mouvement uniforme, appliquée à chaque partie du courant.

Pour avoir des séries convergentes en intégrant l'équation que nous venons de décrire, on développera les fractions du second membre de deux manières différentes, selon que les relèvements y sont ou ne sont pas très-petits par rapport à la profondeur primitive H.

1° Pour les relèvements y qui ne sont pas très-petits, on n'a qu'à développer

$$\frac{1}{1 - \left(1 + \frac{y}{H}\right)^{-m-1}}, \text{ comme } \frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + x^3 + \ldots$$

ce qui donne :

$$\frac{ids}{H} = \left[1 + \left(1 + \frac{y}{H}\right)^{-m-1} + \left(1 + \frac{y}{H}\right)^{-2m-2} + \left(1 + \frac{y}{H}\right)^{-3m-3} + \ldots\right] d\frac{y}{H} - \frac{\alpha U^2}{gH}\left[\left(1 + \frac{y}{H}\right)^{-3} + \left(1 + \frac{y}{H}\right)^{-m-4} + \left(1 + \frac{y}{H}\right)^{-2m-5} + \ldots\right] d\frac{y}{H}.$$

des lits trapèzes dont les talus sont à 1 et à 2 de

Intégrant et représentant, comme nous avons fait, par y_0 ce relèvement au point où $s=s_0$, s étant remplacé par $-s$, on a

$$i(s-s_0)=\left\{\frac{y_0}{H}-\frac{y}{H}+\frac{1}{m}\left[\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-m}-\left(1+\frac{y_0}{H}\right)^{-m}\right]+\ldots\ldots\right\}-\frac{\alpha U^2}{gH}\left\{\frac{1}{2}\left[\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-2}-\left(1+\frac{y_0}{H}\right)^{-2}\right]+\frac{1}{m+3}\left[\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-m-3}-\left(1+\frac{y_0}{H}\right)^{-m-3}\right]+\ldots\ldots\right\},$$

ou en mettant pour m sa valeur $\frac{21}{11}$:

$$\frac{i(s-s_0)}{H}=\frac{y}{H}+\frac{11}{21}\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-\frac{21}{11}}+\frac{11}{53}\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-\frac{53}{11}}+\frac{11}{85}\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-\frac{85}{11}}+\ldots\ldots\frac{\alpha U^2}{gH}\left[\frac{1}{2}\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-2}+\frac{11}{54}\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-\frac{54}{11}}+\frac{11}{86}\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-\frac{86}{11}}+\ldots\ldots\right]-\left\{\begin{matrix}\textit{Idem}\\ \text{en } \frac{y_0}{H}\end{matrix}\right\}.$$

Les deux séries entre crochets sont assez convergentes lorsque le rapport $\frac{y}{H}$ excède 0,40 pour la première et 0,30 environ pour la seconde

2° Pour les relèvements y très-petits par rapport à la profondeur primitive H, et par conséquent pour toutes les parties supérieures du remous, il faut développer $\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-3}$ et $\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-m-1}$ suivant les puissances de

base sur 1 de hauteur, c'est-à-dire pour

$$t=0,\quad t=1,\quad t=2$$

$\frac{y}{H}$, ce qui donne d'abord $ids=$

$$\frac{\left[1-\frac{\alpha U^2}{gH}\left(1-3\frac{y}{H}+6\frac{y^2}{H^2}-10\frac{y^3}{H^3}+15\frac{y^4}{H^4}-\ldots\right)\right]\frac{dy}{(m+1)\frac{y}{H}}}{1-\frac{m+2}{2}\frac{y}{H}+\frac{m+2}{2}\cdot\frac{m+3}{3}\frac{y^2}{H^2}-\frac{m+2}{2}\cdot\frac{m+3}{3}\cdot\frac{m+4}{4}\frac{y^3}{H^3}+\ldots}$$

puis, effectuant la division de 1 par la série du dénominateur, ou faisant $b=-\frac{m+2}{2}$, $c=\frac{m+2}{2}\cdot\frac{m+3}{3}\ldots$ dans cette expression générale :

$$\frac{1}{1+bx+cx^2+dx^3+ex^4+fx^5+\ldots\ldots}=1-bx+(b^2-$$
$$-c)x^2-(b^3-2bc+d)x^3+(b^4-3b^2c+2bd+c^2-e)x^4-$$
$$-(b^5-4b^3c+3bc^2+3b^2d-2cd-2be+f)x^5+\text{etc.}$$

et multipliant par le numérateur, on trouve :

$$ids=dy\left[\frac{H}{(m+1)y}+\frac{m+2}{2(m+1)}+\frac{m(m+2)}{12(m+1)}\frac{y}{H}-\frac{m(m+2)}{24(m+1)}\frac{y^2}{H^2}+\ldots\ldots\right]$$
$$-\frac{\alpha U^2}{gH}dy\left[\frac{H}{(m+1)y}-\frac{4-m}{2(m+1)}+\frac{m^2-16m+36}{12(m+1)}\cdot\frac{y}{H}-\frac{7m^2-58m+96}{24(m+1)}\frac{y^2}{H^2}+\ldots\ldots\right]$$

Intégrant toujours depuis un point situé à une distance $s=0$ et pour lequel le relèvement $y=y_0$ est supposé ou connu *à priori* ou déjà calculé par la série relative aux grandes valeurs de y, qu'on vient d'établir, on a

en donnant, pour chacun, les trois valeurs :

$$r=0,\quad r=1/6,\quad r=1/3,$$

$$\frac{-i(s-s_0)}{H}=\frac{1}{m+1}\,\text{log. hyp.}\,\frac{y}{y_0}+\frac{m+2}{2(m+1)}\,\frac{y_0-y}{H}+$$
$$+\frac{m(m+2)}{24(m+1)}\,\frac{y_0^2-y^2}{H^2}-\frac{m(m+2)}{72(m+1)}\,\frac{y_0^3-y^3}{H^3}-$$
$$-\frac{m(m+2)(m^2+2m-18)}{2880(m+1)}\,\frac{y_0^4-y^4}{H^4}-$$
$$-\frac{m(2-m)(m+2)(m+4)}{2400(m+1)}\,\frac{y_0^5-y^5}{H^5}+\text{etc.}$$
$$-\frac{\alpha U^2}{gH}\left\{\frac{1}{m+1}\,\text{log. hyp.}\,\frac{y}{y_0}-\frac{4-m}{2(m+1)}\,\frac{y_0-y}{H}+\right.$$
$$+\frac{m^2-16m+36}{24(m+1)}.\frac{y_0^2-y^2}{H^2}-\frac{7m^2-58m+96}{72(m+1)}.\frac{y_0^3-y^3}{H^3}+$$
$$\left.+\frac{-m^4-4m^3+464m^2-2664m+3600}{720(m+1)}.\frac{y_0^4-y^4}{H^4}-\text{etc.}\right\}$$

Ou, en mettant pour m sa valeur $\frac{21}{11}$:

$$\frac{i(s-s_0)}{H}=\frac{11}{32}\,\text{log. hyp.}\,\frac{y}{y_0}+\frac{43}{2^6}\,\frac{y_0-y}{H}+\frac{7.43}{2^8.11}\,\frac{y_0^2-y^2}{H^2}-$$
$$-\frac{7.43}{2^8.3.11}\,\frac{y_0^3-y^3}{H^3}+\frac{5.7.17.43}{2^{10}.11^3}\,\frac{y_0^4-y^4}{H^4}-$$
$$-\frac{7.13.43}{2^{10}.5.11^3}\,\frac{y_0^5-y^5}{H^5}+\text{etc.}$$
$$-\frac{\alpha U^2}{gH}\left(\frac{11}{32}\,\text{log. hyp.}\,\frac{y}{y_0}-\frac{23}{2^6}\,\frac{y_0-y}{H}+\frac{367}{2^8.11}\,\frac{y_0^2-y^2}{H^2}-\right.$$
$$-\frac{5.29}{2^8.11}\,\frac{y_0^3-y^3}{H^3}+\frac{5.9.1187}{2^9.11^3}\,\frac{y_0^4-y^4}{H^4}-$$
$$\left.-\frac{3.24013}{2^{10}.11^3}\,\frac{y_0^5-y^5}{H^5}+\dots\right),$$

au rapport $r = \frac{H}{l + Ht}$ de la profondeur d'eau H a la largeur moyenne d'eau $l + Ht$ dans l'état de régime uniforme (*).

La valeur $r = 0$ est relative, bien entendu, aux canaux extrêmement larges par rapport à la profondeur de régime uniforme. On a les mêmes nombres, lorsque $r = 0$, pour toutes les valeurs des talus t. Aussi la première table convient-elle à $t = 1$ ou $= 2$ aussi bien qu'à $t = 0$.

---

expression dans laquelle les deux séries deviennent assez convergentes pour peu que $\frac{y_0}{H}$ (supposé plus grand que $\frac{y}{H}$) soit au-dessous de 0,40 pour la première série et de 0,30 pour la seconde ; mais qu'il ne faudrait pas employer au delà, tandis que la méthode Simpson s'applique à toutes les grandeurs de ce rapport.

(*) On a choisi 1/3 pour la plus grande valeur de r, parce que, moindre, réduite, par exemple, à 1/4 ou 1/5, elle n'aurait pas satisfait à toutes les applications à des canaux rectangulaires, et que, plus considérable, portée par exemple à 2/5, elle eût réduit à rien la largeur au plafond des canaux trapèzes avec talus de 2 sur 1, pour lesquels il convenait que les valeurs de r fussent les mêmes afin de pouvoir faire des interpolations pour des talus non indiqués aux tables.

Tables donnant les remous ou les relèvements d'eau y à une distance quelconque s—s₀ en amont d'un barrage qui en produit un y₀ dans un courant ayant une pente de fond I, une profondeur H dans l'état primitif ou de régime uniforme, avec un rapport r entre cette profondeur et la largeur moyenne d'eau dans le même état et des bords en talus de t sur 1.

Première table. Cas r = 0, t quelconque (lits très-larges).

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	Différences.	$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$		Différences.	
3,00		0,0000 —	0,0000 $\frac{\alpha U^2}{gH}$		
2,90	0,10	0,1019	0,0017	0,1019 —	0,0017 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
2,80		0,2039	0,0034	1020	17
2,70		0,3061	0,0054	1022	20
2,60		0,4085	0,0075	1024	21
2,50		0,5110	0,0098	1025	23
2,40		0,6138	0,0123	1028	25
2,30		0,7169	0,0150	1031	27
2,20		0,8202	0,0180	1033	30
2,10		0,9239	0,0214	1037	34
2,00		1,0280	0,0250	1041	36
1,90		1,1325	0,0291	1045	41
1.80		1,2375	0,0336	1050	45
1,70		1,3431	0,0387	1056	51
1,60		1,4493	0,0444	1062	57
1,50		1,5563	0,0509	1070	65
1,40		1,6643	0,0582	1080	73
1,30		1,7734	0,0667	1091	85
1,20		1.8838	0,0764	1104	97
1,10	0,10	1,9959	0,0877	1121	113
1,00	0,05	2,1101	0,1009	1142	132
0,95		2,1681	0,1085	580	76
0.90		2,2268	0,1167	587	82
0,85		2,2864	0,1257	596	90
0,80		2,3470	0,1357	606	100
0,75		2,4086	0,1467	616	110
0.70		2,4714	0,1590	628	123
0,65		2,5358	0,1727	644	137
0,60		2,6019	0,1881	661	154
0,55	0.05	2,6701	0,2056	682	175
0,50	0,01	2,7409	0,2255	708	199
0,49		2,7554	0,2299	145	44
0,48		2,7700	0,2344	146	45
0,47		2,7848	0,2390	148	46
0,46		2,7997	0,2437	149	47
0,45		2,8147	0,2486	150	49
0,44		2,8299	0,2536	152	50
0,43		2,8453	0,2588	154	52
0,42		2,8609	0,2642	156	54
0,41		2,8767	0,2698	158	56
0,40		2,8926	0,2755	159	57
0,39		2,9087	0,2814	161	59
0,38		2,9250	0,2876	163	62
0,37		2,9415	0,2940	165	64
0,36		2,9583	0,3006	168	66
0,35	0,01	2,9754 —	0,3074 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	0,0171 —	0,0068 $\frac{\alpha U^2}{gH}$

Suite de la première table r = 0, i quelconque (lits très-larges).

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	Différences.	$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$	Différences.
0,34	0,01	2,9927 — 0,3145 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	0,0173 — 0,0071 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
0,33		3,0103 0,3219	176 74
0,32		3,0282 0,3296	179 77
0,31		3,0464 0,3376	182 80
0,30		3,0649 0,3460	185 84
0,29		3,0839 0,3547	190 87
0,28		3,1032 0,3638	193 91
0,27		3,1229 0,3733	197 95
0,26		3,1431 0,3833	202 100
0,25		3,1638 0,3937	207 104
0,24		3,1850 0,4047	212 110
0,23		3,2068 0,4163	218 118
0,22		3,2292 0,4285	224 122
0,21		3,2524 0,4414	232 129
0,20		3,2763 0,4551	239 137
0,19		3,3010 0,4696	247 145
0,18		3,3266 0.4850	256 154
0,17		3,3533 0,5014	267 164
0,16		3,3812 0,5190	279 176
0,15		3,4104 0,5380	292 190
0,14		3,4411 0,5585	307 205
0,13		3,4736 0,5807	325 222
0,12		3,5081 0,6049	345 242
0,11		3,5450 0,6315	369 266
0,10		3,5847 0,6610	397 295
0,09		3,6278 0,6938	431 328
0 08		3,6752 0,7309	474 371
0,07		3,7280 0,7734	528 425
0,06	0,01	3,7877 0,8230	597 496
0,05	0,002	3,8573 0,8823	696 593
0,048		3,8727 0,8956	154 133
0,046		3,8887 0,9095	160 139
0,044		3,9053 0,9241	166 146
0,042		3,9227 0,9394	174 153
0,040		3,9408 0,9555	181 161
0,038		3,9598 0,9724	190 169
9,036		3,9798 0,9903	200 179
0,034		4,0008 1,0093	210 190
0,032		4,0230 1,0294	222 201
0,030		4,0465 1.0509	235 215
0,028		4,0716 1,0739	251 230
0,026		4,0984 1,0987	268 248
0,024		4,1273 1,1255	289 268
0,022		4,1585 1,1547	312 292
0,020	0,002	4,1927 1,1868	342 321
0,019	0,001	4,2110 1,2040	183 172
0,018		4,2303 1,2223	193 183
0,017		4,2506 1,2416	203 193
0,016		4,2721 1,2620	215 204
0,015		4,2949 1,2838	228 218
0,014		4,3193 1,3072	244 234
0,013		4,3455 1,3323	262 251
0,012		4,3737 1,3595	282 272
0,011		4,4048 1,3891	306 296
0,010	0,001	4,4377 — 1,4215 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	0,0334 — 0,0324 $\frac{\alpha U^2}{gH}$

Tables donnant les remous ou relèvements d'eau y.

Deuxième table. Cas t = 0 *(lit rectangulaire)*, r = 1/6.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	Différences.	$\frac{is}{H}$ ou	$\frac{is_0}{H}$	Différences.	
3,00		0,0000	— 0,0000 $\frac{\alpha U^2}{gH}$		
2,90	0,10	0,1033	0,0017	0,1033	— 0,0017 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
2,80		0,2068	0,0035	1035	18
2,70		0,3106	0,0056	1038	20
2,60		0,4146	0,0076	1040	21
2,50		0,5188	0,0099	1042	23
2,40		0,6234	0,0125	1046	26
2,30		0,7284	0,0153	1050	28
2,20		0,8337	0,0183	1053	30
2,10		0,9395	0,0217	1058	34
2,00		1,0458	0,0255	1063	38
1,90		1,1526	0,0296	1068	41
1,80		1,2601	0,0343	1075	47
1,70		1,3683	0,0395	1082	52
1,60		1,4773	0,0454	1090	59
1,50		1,5874	0,0520	1101	66
1,40		1,6986	0,0596	1112	77
1,30		1,8111	0,0682	1125	86
1,20		1,9253	0,0783	1142	101
1,10		2,0414	0,0900	1161	117
1,00	0,10	2,1600	0,1038	1186	138
0,95	0,05	2,2204	0,1116	604	78
0,90		2,2816	0,1202	612	86
0,85		2,3438	0,1296	622	94
0,80		2,4070	0,1400	632	104
0,75		2,4715	0,1516	645	116
0,70		2,5375	0,1644	660	128
0,65		2,6051	0,1788	676	144
0,60		2,6747	0,1951	696	163
0,55		2,7467	0,2135	720	184
0,50	0,05	2,8215	0,2346	748	211
0,49	0,01	2,8369	0,2392	154	46
0,48		2,8524	0,2440	155	48
0,47		2,8681	0,2488	157	48
0,46		2,8839	0,2539	158	51
0,45		2,8998	0,2591	159	52
0,44		2,9160	0,2644	162	53
0,43		2,9323	0,2699	163	55
0,42		2,9489	0,2757	166	58
0,41		2,9656	0,2816	167	59
0,40		2,9825	0,2877	169	61
0,39		2,9997	0,2940	172	63
0,38		3,0171	0,3005	174	65
0,37		3,0347	0,3073	176	68
0,36		3,0526	0,3144	179	71
0,35	0,01	3,0708	— 0,3217 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	182	73
				185	— 0,0076 $\frac{\alpha U^2}{gH}$

Suite de la première table. $t = 0$, $r = 1/6$.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	Différences.	$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$	Différences.
0,34	0,01	3,0893 — 0,3293 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	
0,33		3,1080 0,3372	0,0187 — 0.0079 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
0,32		3,1271 0,3454	191 82
0,31		3,1466 0,3539	195 85
0,30		3,1665 0,3629	199 90
0,29		3,1867 0,3722	202 93
0,28		3,2074 0,3819	207 97
0,27		3,2286 0,3921	212 102
0,26		3,2502 0,4028	216 107
0,25		3,2724 0,4141	222 113
0,24		3,2952 0,4259	228 118
0,23		3,3186 0,4383	234 124
0,22		3,3427 0,4514	241 131
0,21		3,3676 0,4653	249 139
0,20		3,3933 0,4800	257 147
0,19		3,4200 0,4956	267 156
0,18		3,4476 0,5122	276 166
0,17		3,4764 0,5300	288 178
0,16		3.5065 0,5491	301 191
0,15		3.5381 0,5695	316 204
0,14		3,5713 0,5917	332 222
0,13		3,6064 0,6157	351 240
0,12		3,6438 0,6419	374 262
0,11		3,6837 0,6707	399 288
0,10		3,7268 0,7027	431 320
0,09		3,7736 0,7383	468 356
0,08		3,8251 0,7786	515 403
0,07		3,8824 0,8248	573 462
0,06	0,01	3,9475 0,8787	651 539
0,050		4,0233 0,9433	758 646
0,048	0,002	4,0401 0,9578	168 145
0,046		4,0575 0,9730	174 152
0,044		4,0756 0,9889	181 159
0,042		4,0945 1,0056	189 167
0,040		4,1143 1,0231	198 175
0,038		4,1350 1,0416	207 185
0,036		4,1568 1,0611	218 195
0,034		4,1797 1,0817	229 206
0,032		4,2039 1,1037	242 220
0,030		4,2296 1,1271	257 234
0,028		4,2569 1,1522	273 251
0,026		4,2862 1,1793	293 271
0,024		4,3177 1,2086	315 293
0,022	0,002	4,3519 1,2404	342 318
0,020		4,3891 1,2754	372 350
0,019	0,001	4,4091 1,2943	200 189
0,018		4,4302 1,3142	211 199
0,017		4,4524 1,3353	222 211
0,016		4,4759 1,3577	235 224
0,015		4,5008 1,3815	249 238
0,014		4,5275 1,4070	267 255
0,013		4,5561 1,4345	286 275
9,012		4,5869 1,4642	308 297
0,011		4,6203 1,4964	334 322
0,010	0,001	4,6569 — 1,5319 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	0,0366 — 0,0355 $\frac{\alpha U^2}{gH}$

Tables donnant les remous ou relèvements d'eau y.

Troisième table. Cas $t=0$ *(lit rectangulaire)*, $r=1/3$.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	Différences	$\frac{is}{H}$ ou	$\frac{is_0}{H}$	Différences.	
3,00		0,0000	— 0,0000 $\frac{\alpha U^2}{gH}$		
2,90	0,00	0,1042	0,0017	0,1042 —	0,0017 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
2,80		0,2086	0,0035	1044	18
2,70		0,3133	0,0055	1047	20
2,60		0,4183	0,0077	1050	22
2,50		0,5236	0,0100	1053	23
2,40		0,6294	0,0120	1058	26
2,30		0,7355	0,0154	1061	28
2,20		0,8420	0,0185	1065	31
2,10		0,9491	0,0220	1071	35
2,00		1,0568	0,0258	1077	38
1,90		1,1650	0,0300	1082	42
1,80		1,2740	0,0347	1090	47
1,70		1,3839	0,0400	1099	53
1,60		1,4917	0,0459	1108	59
1,50		1,6066	0,0527	1119	68
1,40		1,7198	0,0604	1132	77
1,30		1,8345	0,0692	1147	88
1,20		1,9511	0,0795	1166	103
1,10	0,10	2,0698	0,0914	1187	119
1,00		2,1912	0,1056	1214	142
0,95	0,05	2,2531	0,1136	619	80
0,90		2,3159	0,1224	628	88
0,85		2,3797	0,1321	638	97
0,80		2,4447	0,1428	650	107
0,75		2,5111	0,1547	664	119
0,70		2,5791	0,1679	680	132
0,65		2,6489	0,1827	698	148
0,60		2,7208	0,1995	719	168
0,55	0,05	2,7952	0,2186	744	191
0,50		2,8727	0,2405	775	219
0,49	0,01	2,8886	0,2452	159	47
0,48		2,9047	0,2501	161	49
0,47		2,9209	0,2552	162	51
0,46		2,9373	0,2604	164	52
0,45		2,9539	0,2658	166	54
0,44		2,9707	0,2714	168	56
0,43		2,9877	0,2771	170	57
0,42		3,0048	0,2830	171	59
0,41		3,0222	0,2892	174	62
0,40		3,0398	0,2955	176	63
0,39		3,0577	0,3021	179	66
0,38		3,0758	0,3089	181	68
0,37		3,0941	0,3160	183	71
0,36		3,1128	0,3233	187	73
0,35		3,1317 —	0,3309 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	089	76
	0,01			0,0193 —	0,0079 $\frac{\alpha U^2}{gH}$

Suite de la troisième table. t = 0. r = 1/3.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	Différences.	$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$		Différences.	
0,34	0,01	3,1510 —	0,3388 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	0,0195 —	0,0083 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
0,33		3,1705	0,3471	199	85
0,32		3,1904	0,3556	204	90
0,31		3,2108	0,3646	207	93
0,30		3,2315	0,3739	211	97
0,29		3,2526	0,3836	216	102
0,28		3,2742	0,3938	221	107
0,27		3,2963	0,4045	227	112
0,26		3,3190	0,4157	232	117
0,25		3,3422	0,4274	238	124
0,24		3,3660	0,4398	245	130
0,23		3,3905	0,4528	253	137
0,22		3,4158	0,4665	261	145
0,21		3,4419	0,4810	269	154
0,20		3,4688	0,4964	280	164
0,19		3,4968	0,5128	290	175
0,18		3,5258	0,5303	302	186
0,17		3,5560	0,5489	317	200
0,16		3,5877	0,5689	331	215
0,15		3,6208	0,5904	349	233
0,14		3,6557	0,6137	370	253
0.13		3,6927	0,6390	393	276
0,12		3,7320	0,6665	420	304
0,11		3,7740	0,6969	454	336
0,10		3,8194	0,7305	493	376
0,09		3,8687	0,7681	543	425
0,08		3,9230	0,8106	605	487
0,07		3,9835	0,8593	687	570
0,06	0,01	4,0522	0,9163	801	690
0,05	0,002	4,1323	0,9853	177	156
0,048		4,1500	1,0009	184	160
0,046		4,1684	1,0169	192	168
0,044		4,1876	1,0337	200	176
0,042		4,2076	1,0513	209	185
0,040		4,2285	1,0698	219	196
0,038		4,2504	1,0894	230	206
0,036		4,2734	1,1100	242	218
0,034		4,2976	1,1318	256	233
0,032		4,3232	1,1551	272	248
0,030		4,3504	1,1799	289	265
0,028		4,3793	1,2064	310	286
0,026		4,4103	1,2350	333	310
0,024		4,4436	1,2660	361	337
0,022	0,002	4,4797	1,2997	395	371
0,020	0,001	4,5192	1,3366	212	200
0,019		4,5404	1,3568	222	210
0,018		4,5626	1,3778	235	223
0,017		4,5861	1,4001	249	237
0,016		4,6110	1,4238	265	253
0,015		4,6375	1,4491	282	270
0,014		4,6657	1,4761	302	291
0,013		4,6959	1,5052	327	314
0,012		4,7286	1,5366	353	342
0,011	0,001	4,7639	1,5708	0,0388 —	0,0375 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
0,010		4,8027 —	1,6083 $\frac{\alpha U^2}{gH}$		

Tables donnant les remous ou relèvements d'eau y.

Quatrième table. Cas $t = 1$ *(lits trapèzes, talus de 1 sur 1)*, $r = 1/6$.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	Différences.	$\frac{i s}{H}$ ou $\frac{i s_0}{H}$		Différences.	
3,00		0,0000 —	0,0000 $\frac{\alpha U^2}{gH}$		
2,90	0,00	0,1012	0,0011	0,1012 —	0,0011 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
2,80		0,2025	0,0022	1013	11
2,70		0,3040	0,0035	1015	13
2,60		0,4056	0,0050	1016	15
2,50		0,5073	0,0066	1017	16
2,40		0,6092	0,0083	1019	17
2,30		0,7114	0,0103	1022	20
2,20		0,8138	0,0125	1024	23
2,10		0,9164	0,0149	1026	24
2,00		1,0194	0,0177	1030	28
1,90		1,1227	0,0209	1033	32
1,80		1,2265	0,0245	1038	36
1,70		1,3308	0,0285	1043	40
1,60		1,4356	0,0332	1048	47
1,50		1,5412	0,0386	1056	54
1,40		1,6476	0,0448	1064	62
1,30		1,7549	0,0521	1073	73
1,20		1,8635	0,0607	1086	86
1,10		1,9736	0,0708	1101	101
1,00	0,10	2,0856	0,0830	1120	122
0,95	0,05	2,1425	0,0900	569	70
0,90		2,2000	0,0978	575	78
0,85		2,2583	0,1064	583	86
0,80		2,3175	0,1159	592	95
0,75		2,3777	0,1265	602	106
0,70		2,4391	0,1385	614	120
0,65		2,5019	0,1520	628	135
0,60		2,5663	0,1674	644	154
0,55	0,05	2,6327	0,1849	664	175
0,50	0,01	2,7015	0,2052	688	203
0,49		2,7156	0,2096	141	44
0,48		2,7298	0,2142	142	45
0,47		2,7442	0,2189	144	47
0,46		2,7587	0,2238	145	49
0,45		2,7733	0,2288	146	50
0,44		2,7880	0,2340	147	52
0,43		2,8030	0,2394	150	54
0,42		2,8181	0,2449	151	55
0,41		2,8333	0,2507	152	58
0,40		2,8488	0,2566	155	59
0,39		2,8644	0,2628	156	62
0,38		2,8803	0,2692	159	64
0,37		2,8963	0,2759	160	67
0,36		2,9126	0,2828	163	69
0,35	0,01	2,9291 —	0,2900 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	165	72
				0,0166 —	0,0074 $\frac{\alpha U^2}{gH}$

Suite de la quatrième table. $\varepsilon = 1$, $r = 1/6$.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	Différences.	$\frac{is}{H}$	ou $\frac{is_0}{H}$	Différences.	
0,34	0,01	2,9459	— 0,2974 $\frac{\alpha U^2}{gH}$		
0,33		2,9629	0,3052	0,0170	— 0,0078 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
0,32		2,9802	0,3133	173	81
0,31		2,9978	0,3218	176	85
0,30		3,0158	0,3306	180	88
0,29		3,0341	0,3398	183	92
0,28		3,0528	0,3495	187	97
0,27		3,0719	0,3596	191	101
0,26		3,0914	0,3702	195	106
0,25		2,1114	0,3814	200	112
0,24		3,1319	0,3932	205	118
0,23		3,1529	0,4056	210	124
0,22		3,1746	0,4187	217	131
0,21		3,1969	0,4326	223	139
0,20		3,2200	0,4473	231	147
0,19		3,2438	0,4629	238	156
0,18		3,2686	0,4796	248	167
0,17		3,2944	0,4975	258	179
0,16		3,3212	0,5166	268	191
0,15		3,3494	0,5372	282	206
0,14		3,3790	0,5595	296	223
0,13		3,4103	0,5838	313	243
0,12		3,4435	0,6103	332	265
0,11		3,4790	0,6394	355	291
0,10		3,5172	0,6718	382	324
0,09		3,5587	0,7079	415	261
0,08		3,6043	0,7488	456	409
0,07		3,6550	0,7957	506	469
0,06	0,01	3,7125	0,8505	575	548
0,05		3,7794	0,9162	669	657
0,048	0,002	3,7942	0,9310	148	148
0,046		3,8096	0,9465	154	155
0,044		3,8256	0,9627	160	162
0,042		3,8422	0,9797	166	170
0,040		3,8596	0,9975	174	178
0,038		3,8779	1,0163	183	188
0,036		3,8970	1,0362	191	199
0,034		3,9172	1,0573	202	211
0,032		3,9385	1,0797	213	224
0,030		3,9611	1,1036	226	239
0,028		3,9852	1,1292	241	256
0,026		4,0110	1,1568	258	276
0,024		4,0387	1,1867	277	299
0,022	0,001	4,0687	1,2192	300	325
0,020		4,1014	1,2549	327	5 7
0,019	0,002	4,1190	1,2742	186	193
0,018		4,1375	1,2945	185	203
0,017		4,1570	1,3161	195	216
0,016		4,1777	1,3389	207	228
0,015		4,1996	1,3633	219	244
0,014		4,2230	1,3894	234	261
0,013		4,2481	1,4174	251	28
0,012		4,2752	1,4477	271	30
0,011	0,001	4,3045	1,4807	293	33
0,010		4,3366	— 1,5169 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	0 0321	— 0,00362 $\frac{\alpha U^2}{gH}$

Tables donnant les remous ou relèvements d'eau y.

Cinquième table. $t = 1$ (*lits trapèzes, talus 1 sur 1*), $r = 1/3$.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	Différences.	$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$		Différences.	
3,00	0,00	0,0000 —	0,0000 $\frac{\alpha U^2}{gH}$		
2,90		0,1007	0,0007	0,1007 —	0,0007 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
2,80		0,2015	0,0015	1008	8
2,70		0,3023	0,0023	1 08	8
2,60		0,4032	0,0033	1009	10
2,50		0,5043	0,0044	1011	11
2,40		0,6055	0,0056	1012	12
2,30		0,7068	0,0070	1013	14
2.20		0,8083	0,0085	1015	15
2,10		0,9100	0,0103	1017	18
2,00		1,0119	0,0123	1019	20
1,90		1,1141	0 0147	1022	24
1,80		1,2166	0,0174	1025	27
1,70		1,3195	0,0205	1029	31
1,60		1.4229	0,0241	1034	36
1,50		1,5268	0,0284	1039	43
1,40		1,6313	0,0334	1045	50
1,30		1,7366	0,0394	1053	60
1,20		1,8429	0,0465	1063	71
1,10	0,10	1,9505	0,0551	1076	86
1,00		2,0597	0,0656	1092	105
0,95	0,01	2,1150	0,0717	553	61
0,90		2,1708	0,0785	558	68
0,85		2,2273	0.0861	565	76
0,80		2,2846	0,0947	573	86
0,75		2,3428	0,1044	582	97
0,70		2,4020	0,1153	592	109
0,65		2,4624	0,1278	604	125
0,60		2,5243	0,1421	619	143
0,55	0,05	2,5880	0,1587	637	166
0,50		2,6537	0,1780	657	193
0,49	0,01	2,6672	0,1822	135	42
0,48		2,6808	0,1866	136	44
0,47		2,6945	0,1911	137	45
0,46		2,7083	0,1958	138	47
0,45		2,7222	0,2006	139	48
0,44		2,7362	0,2056	140	50
0,43		2,7504	0,2108	142	52
0,42		2,7648	0,2162	144	54
0,41		2,7793	0,2218	145	56
0,40		2,7940	0,2276	147	58
0,39		2,8088	0.2336	148	60
0,38		2,8238	0,2399	150	63
0,37		2,8391	0,2464	153	65
0,36		2,8545	0,2532	154	68
0,35	0,01	2,8701 —	0,2602 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	156	70
				0,0159 —	0,0074 $\frac{\alpha U^2}{gH}$

Suite de la cinquième table. $\iota = 1$, $r = 1/3$.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	Différences.	$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$		Différences.	
0,34	0,01	2,8860 —	0,2676 $\frac{\alpha U^2}{gH}$		
0,33		2,9021	0,2753	0,0161 —	0,0077 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
0,32		2,9185	0,2833	164	80
0,31		2,9351	0,2917	166	84
0,30		2,9521	0,3004	170	87
0,29		2,9693	0,3096	172	92
0,28		2,9869	0,3192	176	96
0,27		3,0049	0,3293	180	101
0,26		3,0233	0,3400	184	107
0,25		3,0421	0,3512	188	112
0,24		3,0614	0,3630	193	118
0,23		3,0812	0,3755	198	125
0,22		3,1015	0,3887	203	132
0,21		3,1224	0,4027	209	140
0,20		3,1440	0,4176	216	149
0,19		3,1664	0,4335	224	159
0,18		3,1896	0,4504	232	169
0,17		3,2137	0,4686	241	182
0,16		3,2388	0,4881	251	195
0,15		3,2651	0,5092	263	211
0,14		3,2927	0,5320	276	228
0,13		3,3218	0,5569	291	249
0,12		3,3528	0,5841	310	272
0,11		3,3858	0,6141	330	300
0,10		3,4213	0,6475	355	334
0,09		3,4599	0,6848	386	373
0,08		3,5022	0,7272	423	424
0,07		3,5492	0,7758	470	486
0,06	0,01	3,6025	0,8329	533	571
0,05	0,002	3,6644	0,9013	619	684
0,048		3,6778	0,9167	134	154
0,046		3,6920	0,9328	142	161
0,044		3,7068	0,9497	148	169
0,042		3,7222	0,9675	154	178
0,040		3,7383	0,9861	161	186
0,038		3,7552	1,0058	169	197
0,036		3,7729	1,0266	177	208
0,034		3,7915	1,0486	186	220
0,032		3,8112	1,0720	197	234
0,030		3,8321	1,0970	209	250
0,028		3,8543	1,1239	222	269
0,026		3,8781	1,1528	238	289
0,024		3,9037	1,1840	256	312
0,022	0,001	3,9314	1,2181	277	341
0,020	0,002	3,9616	1,2556	302	375
0,019		3,9778	1,2758	162	202
0,018		3,9949	1,2971	171	213
0,017		4,0129	1,3197	180	226
0,016		4,0319	1,3437	190	240
0,015		4,0521	1,3693	202	256
0,014		4,0737	1,3966	216	273
0,013		4,0969	1,4261	232	295
0,012		4,1218	1,4579	249	318
0,011		4,1489	1,4926	271	347
0,010	0,001	4,1785 —	1,5306 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	0,0296 —	0,0380 $\frac{\alpha U^2}{gH}$

Tables donnant les remous ou relèvements d'eau y.

Sixième table. $t = 2$ (*lits trapèzes, talus 2 sur 1*), $r = 1/6$.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	Différences.	$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$		Différences.	
3,00	0,10	0,0000 —	0,0000 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	0,1007 —	0,0007 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
2,90		0,1007	0,0007	1007	8
2,80		0,2014	0,0015	1008	8
2,70		0,3022	0,0023	1009	10
2,60		0,4031	0,0033	1009	11
2,50		0,5040	0,0044	1011	12
2,40		0,6051	0,0056	1013	14
2,30		0,7064	0,0070	1014	15
2,20		0,8078	0,0085	1016	18
2,10		0,9094	0,0103	1018	20
2,00		1,0112	0,0123	1021	24
1,90		1,1133	0,0147	1024	27
1,80		1,2157	0,0174	1027	31
1,70		1,3184	0,0205	1032	36
1,60		1,4216	0,0241	1037	43
1,50		1,5253	0,0284	1043	50
1,40		1,6296	0,0334	1051	59
1,30		1,7347	0,0393	1061	71
1,20		1,8408	0,0464	1072	86
1,10	0,10	1,9480	0,0550	1088	104
1,00		2,0568	0,0654		
0,95	0,05	2,1119	0,0715	551	61
0,90		2,1675	0,0783	556	68
0,85		2,2238	0,0859	563	76
0,80		2,2808	0,0945	570	86
0,75		2,3387	0,1041	579	96
0,70		2,3976	0,1150	589	109
0,65		2,4576	0,1274	600	124
0,60		2,5191	0,1416	515	142
0,55	0,05	2,5823	0,1580	632	164
0,50		2,6476	0,1772	653	192
0,49	0,01	2,6610	0,1814	134	42
0,48		2,6745	0,1857	135	43
0,47		2,6880	0,1902	135	45
0,46		2,7017	0,1949	137	47
0,45		2,7155	0,1997	138	48
0,44		2,7295	0,2046	140	49
0,43		2,7436	0,2098	141	52
0,42		2,7578	0,2151	142	53
0,41		2,7722	0,2207	144	56
0,40		2,7867	0,2264	145	57
0,39		2,8014	0,2324	147	60
0,38		2,8163	0,2386	149	62
0,37		2,8314	0,2451	151	65
0,36		2,8467	0,2518	153	67
0,35	0,01	2,8622 —	0,2588 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	155	70
				0,0157 —	0,0072 $\frac{\alpha U^2}{gH}$

Suite de la sixième table.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	Différences.	$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$		Différences.	
0,34	0,01	2,8779 —	0,2660 $\frac{\alpha U^2}{gH}$		
0,33		2,8938	0,2736	0,0150 —	0,0076 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
0,32		2,9100	0,2816	162	80
0,31		2,9265	0,2899	165	83
0,30		2,9433	0,2985	168	86
0,29		2,9604	0,3076	171	91
0,28		2,9778	0,3172	174	96
0,27		2,9956	0,3272	176	100
0,26		3,0138	0,3377	182	105
0,25		3,0324	0,3487	186	110
0,24		3,0514	0,3604	190	117
0,23		3,0710	0,3727	196	123
0,22		3,0911	0,3858	201	131
0,21		3,1118	0,3997	207	139
0,20		3,1331	0,4144	213	147
0,19		3,1552	0,4300	221	156
0,18		3,1781	0,4468	229	168
0,17		3,2018	0,4647	237	179
0,16		3,2266	0,4840	248	193
0,15		3,2526	0,5048	260	208
0,14		3,2798	0,5273	272	225
0,13		3,3086	0,5518	288	245
0,12		3,3391	0,5787	305	269
0,11		3,3716	0,6083	325	296
0,10		3.4066	0,6411	350	328
0,09		3.4446	0,6779	380	368
0,08		3,4863	0,7197	417	418
0,07		3.5326	0,7676	463	479
0,06	0,01	3,5851	0,8237	525	561
0,05		3,6461	0,8911	610	674
0,048	0,002	3,6595	0,9068	134	152
0,046		3.6735	0.9222	140	159
0,044		3,6881	0,9388	146	166
0,042		3,7032	0.9562	151	174
0,040		3,7191	0,9746	159	184
0,038		3,7357	0,9939	166	193
0,036		3,7531	1,0143	174	204
0.034		3,7714	1.0360	183	217
0,032		3,7908	1,0591	194	231
0,030		3,8113	1,0837	205	246
0,028		3,8332	1,1101	219	264
0,026		3,8566	1,1385	234	284
0,024		3,8818	1,1692	252	307
0,022	0,001	3,9090	1,2028	272	336
0,020		3,9387	1,2396	297	368
0,019	0,002	3,9546	1,2595	159	199
0,018		3,9714	1,2805	168	210
0,017		3,9891	1,3027	177	222
0,016		4,0078	1,3262	187	235
0,015		4,0277	1,3514	199	252
0,014		4,0490	1,3788	213	269
0,013		4.0717	1,4072	227	289
0,012		4,0962	1,4385	245	313
0,011	0,001	4.1228	1,4726	266	341
0,010		4,1519 —	1,5100 $\frac{\alpha U^3}{gH}$	0,0291 —	0,0374 $\frac{\alpha U^2}{gH}$

Tables donnant les remous ou relèvements d'eau y.

Septième table. $t=2$ (*lits trapèzes, talus 2 sur 1*), $r=1/2$.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	Différences.	$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$		Différences.	
3,00		0,0000 —	0,0000 $\frac{\alpha U^2}{gH}$		
2,90	0,00	0,1003	0,0003	0,1003 —	0,0003 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
2,80		0,2006	0,0007	1003	4
2,70		0,3009	0,0012	1003	5
2,60		0,4013	0,0017	1004	5
2,50		0,5017	0,0023	1004	6
2,40		0,6022	0,0029	1005	6
2,30		0,7028	0,0037	1006	8
2,20		0,8034	0,0046	1006	9
2,10		0,9042	0,0056	1006	10
2,00		1,0050	0,0068	1008	12
1,90		1,1060	0,0082	1010	14
1,80		1,2072	0,0098	1012	16
1,70		1,3086	0,0117	1014	19
1,60		1,4102	0,0140	1016	23
1,50		1,5121	0,0167	1019	27
1,40		1,6114	0,0200	1023	33
1,30		1,7172	0,0240	1028	40
1,20		1,8206	0,0289	1034	49
1,10		1,9248	0,0350	1042	61
1,00	0,10	2,0300	0,0427	1052	77
0,95	0,05	2,0830	0,0472	530	45
0,90		2,1305	0,0524	535	52
0,85		2,1904	0,0582	539	58
0,80		2,2148	0,0649	544	67
0,75		2,2999	0,0725	551	76
0,70		2,3556	0,0813	557	88
0.65		2,4123	0,0914	567	101
0,60		2,4700	0,1033	577	119
0,55		2,5290	0,1172	590	139
0,50	0,05	2,5896	0,1337	606	165
0,49	0,01	2,6020	0,1373	124	36
0,48		2,6144	0,1411	124	38
0,47		2,6270	0,1450	126	39
0,46		2,6396	0,1491	126	41
0,45		2,6523	0,1533	127	42
0,44		2,6651	0,1577	128	44
0,43		2,6780	0,1623	129	46
0,42		2,6910	0,1671	130	48
0,41		2,7042	0,1720	132	49
0,40		2,7175	0,1772	133	52
0,39		2,7309	0,1826	[illegible]	54
0,38		2,7444	0,1882	[illegible]	56
0,37		2,7581	0,1940	137	58
0,36		2,7720	0,2001	139	61
0.35	0.01	2,7861 —	0.2065 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	141	64
				0,0142 —	0,0067 $\frac{\alpha U^2}{gH}$

Suite de la septième table.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	Diffé-rences.	$\frac{is}{H}$ ou	$\frac{is_0}{H}$	Différences.	
0,34	0,01	2,8003	— 0,2132 $\frac{\alpha U^2}{gH}$		
0,33		2,8147	0,2202	0,0144	— 0,0070 $\frac{\alpha U^2}{gH}$
0,32		2,8293	0,2275	146	73
0,31		2,8441	0,2352	148	77
0,30		2,8592	0,2433	151	81
0,29		2,8745	0,2517	153	84
0,28		2,8901	0,2607	156	90
0,27		2,9059	0,2701	158	94
0,26		2,9221	0,2800	162	99
0,25		2,9387	0,2905	166	105
0,24		2,9556	0,3016	169	111
0,23		2,9729	0,3133	173	117
0,22		2,9907	0,3258	178	125
0,21		3,0089	0,3391	182	133
0,20		3,0277	0,3533	188	142
0,19		3,0471	0,3685	194	152
0,18		3,0671	0,3847	200	162
0,17		3,0879	0,4022	208	175
0,16		3,1095	0,4211	216	189
0,15		3,1321	0,4415	226	204
0,14		3,1557	0,4637	236	222
0,13		3,1806	0,4880	249	243
0,12		3,2069	0,5146	263	266
0,11		3,2349	0,5441	280	295
0,10		3,2649	0,5770	300	329
0,09		3,2974	0,6139	325	369
0,08		3,3330	0,6559	356	420
0,07		3,3724	0,7044	394	485
0,06	0,01	3,4170	0,7614	446	570
0,05		3,4685	0,8300	515	686
0,048	0,002	3,4799	0,8455	114	155
0,046		3,4917	0,8617	118	162
0,044		3,5040	0,8787	123	170
0,042		3,5168	0,8965	128	178
0,040		3,5301	0,9153	133	188
0,038		3,5441	0,9351	140	198
0,036		3,5587	0,9561	146	210
0,034		3,5742	0,9783	155	222
0,032		3,5904	1,0020	162	237
0,030		3,6077	1,0273	173	253
0,028		3,6260	1,0544	183	271
0,026		3,6456	1,0836	196	292
0,024		3,6667	1,1153	211	317
0,022	0,001	3,6895	1,1498	228	345
0,020		3,7144	1,1878	249	380
0,019	0,002	3,7278	1,2083	134	205
0,018		3,7418	1,2300	140	217
0,017		3,7566	1,2529	148	229
0,016		3,7722	1,2772	156	243
0,015		3,7889	1,3032	167	260
0,014		3,8066	1,3310	177	278
0,013		3,8256	1,3610	190	300
0,012		3,8461	1,3933	205	323
0,011		3,8683	1,4286	222	353
0,010	0,001	3,8925	— 1,4673 $\frac{\alpha U^2}{gH}$	0,0243	— 0,0387 $\frac{\alpha U^2}{gH}$

38. *Observation sur l'influence du terme provenant de la variation de force vive des tranches fluides.— Cours d'eau approchant d'être torrentueux. Distinction analytique des torrents.*

On voit à ces tables que chaque valeur de $\frac{is}{H}$ ou de la distance s d'un point particulier au point $\frac{y}{H}=3$, multipliée par la pente de fond et divisée par la profondeur de régime uniforme, se trouve composée de deux parties, dont l'une est constante et positive, et dont l'autre, affectée du rapport $\alpha\frac{U^2}{gH}$ et négative, représente l'effet de l'inertie du *fluide* ou ce qui provient du terme $d.\alpha\frac{U^2}{2g}$ qui entre dans l'équation du mouvement, pour peu qu'il ne soit pas uniforme (art. 34). Cette partie, dont M. Dupuit n'a pas tenu compte, peut bien être négligeable pour des cours d'eau déjà profonds et tranquilles avant le relèvement, mais elle ne l'est plus dès que $\frac{\alpha U^2}{gH}$ atteint la valeur $\frac{1}{10}$, ce qui est très-fréquent, et elle devient très-influente pour les cours d'eau *qui approchent d'être torrentueux*, ou pour lesquels le rapport $\frac{U^2}{gH}$ de la hauteur $\frac{U^2}{2g}$ due à la vitesse multipliée par le coefficient α (que l'on a coutume de faire $=1,1$), à la demi-profondeur $\frac{1}{2}$H, approche d'être égal à l'unité. On voit même, par la colonne des différences,

que si $\alpha \frac{U^2}{gH}$ est égal à 1, la seconde partie tend de plus en plus à égaler et même à surpasser la première à mesure que l'on considère des distances $s-s_0$ entre points pour lesquels le gonflement est plus petit. Par exemple, entre le gonflement $y=0,02 . H$ et le gonflement $y=0,01 . H$, la distance $s-s_0$ relative aux courants très-larges, ou à $r=0$, première table, est $\frac{H}{i}\left(0,2450-0,2347 \frac{\alpha U^2}{2g}\right)$ et se réduit à $0,0103 \frac{H}{i}$, c'est-à-dire à fort peu de chose, si l'on a $\frac{\alpha U^2}{gH}=1$.

On sait d'ailleurs que la formule, intégrée comme nous avons fait, cesse de s'appliquer lorsque $\alpha \frac{U^2}{2g}>1$ pour les lits rectangulaires, et nous verrons (art. 41) qu'il en est de même pour les lits à section trapèze lorque $\alpha \frac{U^2}{gH}>\frac{1}{1+rt}$. Alors le gonflement se termine par un ressaut dont M. Belanger a donné l'explication, et appris à calculer la position et la hauteur.

Ce caractère analytique $\alpha \frac{U^2}{gH}>\frac{1}{1+rt}$ de courants se comportant autrement que ceux pour lesquels $\alpha \frac{U^2}{gH}<\frac{1}{1+rt}$ me paraît offrir la meilleure distinction des *torrents*, dont les diverses parties semblent couler indépendamment les unes des autres et qui surmontent les petits obstacles

en vertu de leur vitesse acquise, et des *rivières* ou courants tranquilles dont les tranches successives s'appuient l'une sur l'autre et marchent solidairement, en sorte qu'ils ne franchissent les obstacles qu'au moyen du poids de l'eau relevée, et que tout relèvement dans une portion se fait *sentir* en amont jusqu'à une distance indéfinie.

39. *Autres tables applicables à toute valeur du rapport* r *comprise entre zéro et* 1/3.

Lorsque le rapport r de la profondeur à la largeur d'eau primitive ne sera pas très-proche ou de zéro ou de 1/6 ou de 1/3, il faudra, pour avoir une valeur de $\frac{is}{\text{H}}$, intercaler entre les chiffres des diverses tables de l'art. 37, dont la première convient à $t=1$ ou $t=2$ comme à $t=0$.

On pourra le faire par différences proportionnelles. Mais on aura un résultat sensiblement plus approché sans se donner plus de peine, en interpolant paraboliquement, eu égard à ce que les différences entre les valeurs de $\frac{is}{\text{H}}$ relatives à $r=\frac{1}{3}$ et $r=\frac{1}{6}$ ne sont point égales aux différences entre celles relatives à $r=1/6$ et $r=0$.

A cet effet, on se servira des trois tables suivantes, où l'interpolation est tout opérée, et où l'on n'a plus qu'à mettre pour r sa valeur quelle qu'elle soit.

Voici comment on les a dressées.

Appelons $\frac{is}{\text{H}}(ro)$, $\frac{is}{\text{H}}\left(r\frac{1}{6}\right)$, $\frac{is}{\text{H}}\left(r\frac{1}{3}\right)$ les valeurs

de $\frac{is}{H}$ données par les tables de l'article 37 pour $r=0$, $r=\frac{1}{6}$, $r=\frac{1}{3}$ et pour une même valeur de $\frac{y}{H}$. Nous aurons pour $\frac{is}{H}$ une valeur générale du second degré en r donnant respectivement ces trois valeurs particulières pour $r=0$, $\frac{1}{6}$ et $\frac{1}{3}$ si, en posant :

$$\frac{is}{H}\left(r\frac{1}{6}\right)-\frac{is}{H}(ro)=\Delta_0,\ \frac{is}{H}\left(r\frac{1}{3}\right)-\frac{is}{H}(ro)=\Delta\frac{1}{6},$$

nous prenons :

$$(47)\quad \frac{is}{H}=\frac{is}{H}(ro)+\left(9\Delta_0-3\Delta\frac{1}{6}\right)r+18\left(\Delta\frac{1}{6}-\Delta_0\right)r^2.$$

C'est en mettant dans cette équation, qui n'est autre chose que celle donnée par la formule ordinaire de l'interpolation, les différences Δ prises avec une décimale de plus qu'aux tables de l'art. 37 (*), que nous avons obtenu les tables ci-après.

On n'aura plus, dans chaque cas, qu'à mettre pour le rapport r sa valeur quelle qu'elle soit (pourvu qu'elle n'excède pas 1/3 ou 2/5 au plus, car au delà les résultats ne seraient pas certains), ce qui se fera très-promptement en n'écrivant que quatre décimales des différents termes.

(*) Il y a une erreur en plus, de 0,001, aux chiffres de la seconde partie de la colonne $\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$ de la troisième table, page 310, depuis celui qui répond à $\frac{y}{H}=0{,}05$ jusqu'au bas. Ainsi, le dernier doit être 1,6073 au lieu de 1,6083, et de même pour les vingt-cinq autres.

Table donnant les remous ou relèvements d'eau y à une distance quelconque $s - s_0$ en amont d'un barrage qui en produit un y_0 dans un courant ayant une pente de fond i, une profondeur H dans l'état primitif ou uniforme, avec un rapport r entre cette profondeur et la largeur d'eau moyenne dans le même état.

Première table, talus $t = 0$ (lits rectangulaires).

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$	diff.		diff.		diff.		diff.		diff.		diff.
3,00	0,0000	+	0,0000 r	—	0,000 r²	$-\frac{\alpha U^2}{gH}$	(0,0000	+	0,0000 r	—	0,000 r²)	
2,90	0,1019	1019	0,0102	102	0,010	10	0,0017	17	0,0002	2	0,000	0
2,80	0,2039	1020	0,0208	106	0,020	10	0,0034	17	0,0004	2	0,000	0
2,70	0,3061	1022	0,0320	112	0,031	11	0,0054	20	0,0006	2	0,001	1
2,60	0,4085	1024	0,0437	117	0,042	11	0,0075	21	0,0008	2	0,001	0
2,50	0,5110	1025	0,0559	122	0,054	12	0,0098	23	0,0011	3	0,001	0
2,40	0,6138	1028	0,0687	128	0,066	12	0,0123	25	0,0014	3	0,001	0
2,30	0,7169	1031	0,0823	136	0,079	13	0,0150	27	0,0017	3	0,002	1
2,20	0,8202	1033	0,0965	142	0,093	14	0,0180	30	0,0021	4	0,002	0
2,10	0,9239	1037	0,1115	150	0,108	15	0,0214	34	0,0026	5	0,003	1
2,00	1,0280	1041	0,1272	157	0,123	15	0,0250	36	0,0032	6	0,003	0
1,90	1,1325	1045	0,1439	167	0,139	16	0,0291	41	0,0039	7	0,004	1
1,80	1,2375	1050	0,1616	177	0,155	16	0,0336	45	0,0047	8	0,005	1
1,70	1,3431	1056	0,1804	188	0,173	18	0,0387	51	0,0056	9	0,005	0
1,60	1,4493	1062	0,2004	200	0,192	19	0,0444	57	0,0067	11	0,006	1
1,50	1,5563	1070	0,2217	213	0,212	20	0,0509	65	0,0080	13	0,008	2
1,40	1,6643	1080	0,2445	228	0,234	22	0,0582	73	0,0095	15	0,009	1
1,30	1,7734	1091	0,2690	245	0,257	23	0,0667	85	0,0113	18	0,010	1
1,20	1,8838	1104	0,2955	265	0,282	25	0,0764	97	0,0136	23	0,013	3
1,10	1,9959	1121	0,3243	288	0,309	27	0,0877	113	0,0166	30	0,016	3
1,00	2,1101	1142	0,3555	312	0,337	28	0,1009	132	0,0202	36	0,019	3
0,95	2,1681	580	0,3721	166	0,352	15	0,1085	76	0,0224	22	0,021	2
0,90	2,2268	587	0,3896	175	0,368	16	0,1167	82	0,0248	24	0,023	2
0,85	2,2864	596	0,4081	185	0,385	17	0,1257	90	0,0275	27	0,026	3
0,80	2,3470	606	0,4276	195	0,402	17	0,1357	100	0,0307	32	0,028	2
0,75	2,4086	616	0,4482	206	0,421	19	0,1467	110	0,0344	37	0,032	4
0,70	2,4714	628	0,4699	217	0,440	19	0,1590	123	0,0386	42	0,035	3
0,65	2,5358	644	0,4929	230	0,461	21	0,1727	137	0,0435	49	0,040	5
0,60	2,6019	661	0,5174	245	0,483	22	0,1881	154	0,0492	57	0,045	5
0,55	2,6701	682	0,5439	265	0,506	23	0,2056	175	0,0560	68	0,051	6
0,50	2,7409	708	0,5726	287	0,531	25	0,2255	199	0,0642	82	0,058	7
0,49	2,7554	145	0,5786	60	0,537	6	0,2299	44	0,0661	19	0,060	2
0,48	2,7700	146	0,5847	61	0,542	5	0,2344	45	0,0680	19	0,062	2
0,47	2,7848	148	0,5909	62	0,547	5	0,2390	46	0,0699	19	0,063	1
0,46	2,7997	149	0,5972	63	0,553	6	0,2437	47	0,0719	20	0,065	2
0,45	2,8147	150	0,6036	64	0,559	6	0,2486	49	0,0740	21	0,067	2
0,44	2,8299	152	0,6101	65	0,564	5	0,2536	50	0,0761	21	0,069	2
0,43	2,8453	154	0,6169	68	0,570	6	0,2588	52	0,0784	23	0,071	2
0,42	2,8609	156	0,6237	68	0,575	5	0,2642	54	0,0808	24	0,073	2
0,41	2,8767	158	0,6306	69	0,581	6	0,2698	56	0,0832	24	0,075	2
0,40	2,8926	159	0,6377	71	0,588	7	0,2755	57	0,0858	26	0,077	2
0,39	2,9087	161	0,6450	73	0,594	6	0,2814	59	0,0885	27	0,079	2
0,38	2,9250	163	0,6525	75	0,601	7	0,2876	62	0,0913	28	0,082	3
0,37	2,9415	165	0,6602	77	0,607	6	0,2940	64	0,0942	29	0,084	2
0,36	2,9583	168	0,6680	78	0,614	7	0,3006	66	0,0972	30	0,087	3
0,35	2,9754	+ 171	0,6760 r	— 80	0,621 r²	7 $-\frac{\alpha U^2}{gH}$	(0,3074	+ 68	0,1004 r	— 32	0,090 r²)	3

Suite de la première table. Talus t = 0.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$						$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$						
		diff.		diff.		diff.		diff.		diff.		diff.
0,35	2,9754	+	0,6760 r	−	0,621 r²	$-\frac{\alpha U^2}{gH}$	(0,3074	+	0,1004 r²	−	0,090 r…	
0,34	2,9927	173	1,6841	81	0,628	7	0,3145	71	0,1038	34	0,093	3
0,33	3,0103	176	0,6923	82	0,635	7	0,3219	74	0,1073	35	0,096	3
0,32	3,0282	179	0,7008	85	0,642	7	0,3296	77	0,1110	37	0,099	3
0,31	3,0464	182	0,7097	89	0,649	7	0,3376	80	0,1149	39	0,102	3
0,30	3,0649	185	0,7188	91	0,657	8	0,3460	84	0,1190	41	0,105	3
0,29	3,0839	190	0,7281	93	0,665	8	0,3547	87	0,1233	43	0,109	4
0,28	3,1032	193	0,7377	96	0,673	8	0,3638	91	0,1278	45	0,113	4
0,27	3,1229	197	0,7475	98	0,681	8	0,3733	95	0,1325	47	0,117	4
0,26	3,1431	202	0,7577	102	0,690	9	0,3833	100	0,1375	50	0,121	4
0,25	3,1638	207	0,7683	106	0,699	9	0,3937	104	0,1430	55	0,126	5
0,24	3,1850	212	0,7792	109	0,708	9	0,4047	110	0,1488	58	0,131	5
0,23	3,2068	218	0,7905	113	0,718	10	0,4163	116	0,1548	60	0,136	5
0,22	3,2292	224	0,8022	117	0,728	10	0,4285	122	0,1611	63	0,141	5
0,21	3,2524	232	0,8144	122	0,738	10	0,4414	129	0,1678	67	0,147	6
0,20	3,2763	239	0,8272	128	0,748	10	0,4551	137	0,1751	73	0,153	6
0,19	3,3010	247	0,8405	133	0,759	11	0,4696	145	0,1829	78	0,159	6
0,18	3,3266	256	0,8545	140	0,771	12	0,4850	154	0,1915	84	0,166	7
0,17	3,35 3	267	0,8692	147	0,783	12	0,5014	164	0,2003	90	0,174	8
0,16	3,3812	279	0,8846	154	0,796	13	0,5190	176	0,2101	98	0,182	8
0,15	3,4104	292	0,9009	163	0,809	13	0,5380	190	0,2207	106	0,190	8
0,14	3,4411	307	0,9183	174	0,824	15	0,5585	205	0,2 22	115	0,200	10
0,13	3,47 6	325	0,9368	185	0,839	15	0,5807	222	0,2449	127	0,210	10
0,12	3,5081	345	0,9567	199	0,856	17	0,6049	242	0,2589	140	0,222	12
0,11	3,5450	369	0,9781	214	0,873	17	0,6315	266	0,2743	154	0,234	12
0,10	3,5847	397	1,0014	233	0,892	19	0,6610	295	0,2916	173	0,249	15
0,09	3,6278	431	1,0268	254	0,912	20	0,69 8	328	0,3110	194	0,264	15
0,08	3,6752	474	1,0 53	285	0,936	24	0,7309	371	0,3332	222	0,282	18
0,07	3,7280	528	1,0872	319	0,961	25	0,7734	425	0,3588	256	0,303	21
0,06	3,7877	597	1,1243	371	0,992	31	0,8230	496	0,3890	302	0,327	24
0,05	3,8573	696	1,1670	427	1,027	35	0,8623	593	0,4255	365	0,356	29
0,048	3,8727	154	1,1766	96	1,034	7	0,8956	133	0,4338	83	0,363	7
0,046	3,8887	160	1,1865	99	1,042	8	0,9095	139	0,4425	87	0,370	7
0,044	3,9053	166	1,1967	102	1,050	8	0,9241	146	0,4515	90	0,378	8
0,042	3,9227	174	1,2073	106	1,058	8	0,9394	153	0,4610	95	0,385	7
0,040	3,9408	181	1,2188	115	1,068	10	0,9555	161	0,4711	101	0,393	8
0,038	3,9598	190	1,2 08	120	1,078	10	0,9724	169	0,4817	106	0,402	9
0,036	3,9798	200	1,2433	125	1,088	10	0,9903	179	0,4929	112	0,411	9
0,034	4,0008	210	1,2565	132	1,098	10	1,0093	190	0,5048	119	0,420	9
0,032	4,0230	222	1,2704	139	1,109	11	1,0294	201	0,5174	126	0,430	10
0,030	4,0465	235	1,2853	149	1,121	12	1,0509	215	0,5310	136	0,441	11
0,028	4,0716	251	1,3012	159	1,134	13	1,0739	230	0,5455	145	0,453	12
0,026	4,0984	268	1,3181	169	1,147	13	1,0987	248	0,5612	157	0,466	13
0,024	4,1273	289	1,3364	183	1,162	15	1,1255	268	0,5782	170	0,479	13
0,022	4,1585	312	1,3562	198	1,178	16	1,1547	292	0,5968	186	0,494	15
0,020	4,1927	342	1,3778	216	1,194	16	1,1868	321	0,6172	204	0,510	16
0,019	4,2110	183	1,3897	119	1,205	11	1,2040	172	0,6282	110	0,519	9
0,018	4,2303	193	1,4020	123	1,214	9	1,2223	183	0,6398	116	0,528	9
0,017	4,2506	203	1,4149	129	1,225	11	1,2416	193	0,6521	123	0,538	10
0,016	4,2721	215	1,4287	138	1,236	11	1,2620	204	0,6652	131	0,548	10
0,015	4,2949	228	1,4434	147	1,247	11	1,2838	218	0,6792	140	0,559	11
0,014	4,3193	244	1,4590	156	1,260	13	1,3072	234	0,6941	149	0,571	12
0,013	4,3455	262	1,4756	166	1,273	13	1,3323	251	0,7102	161	0,584	13
0,012	4,3737	282	1,4936	180	1,287	14	1,3595	272	0,7276	174	0,598	14
0,011	4,4043	306	1,5132	196	1,302	15	1,3891	296	0,7465	189	0,613	15
		334		222		19		324		214		18
0,10	4,4377	+	1,5354 r	−	1,321 r²	$-\frac{\alpha U^2}{gH}$	(1,4215	+	0,7679 r²	−	0,631 r²)	

Deuxième table. Talus t = 1 sur 1.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$											
		dif.		dif.		dif.		dif.		dif.		dif.
3,00	0,0000	—	0,0000	$r +$	0,000	$r^2 - \frac{\alpha U^2}{gH}($	0,0000	—	0,0000	$r +$	0,000	$r^2)$
2,90	0,1019	1019	0,0045	45	0,005	3	0,0017	17	0,0042	42	0,004	4
2,80	0,2039	1020	0,0092	47	0,006	3	0,0034	17	0,0085	43	0,008	4
2,70	0,3061	1022	0,0141	49	0,008	2	0,0054	20	0,0130	45	0,012	4
2,60	0,4085	1024	0,0192	51	0,011	3	0,0075	21	0,0177	47	0,015	3
2,50	0,5110	1025	0,0245	53	0,013	2	0,0096	23	0,0225	48	0,019	4
2,40	0,6138	1028	0,0302	57	0,015	2	0,0123	25	0,0276	51	0,022	3
2,30	0,7169	1031	0,0360	58	0,017	2	0,0150	27	0,0328	52	0,026	4
2,20	0,8202	1033	0,0420	60	0,019	2	0,0180	30	0,0382	54	0,029	3
2,10	0,9239	1037	0,0483	63	0,020	1	0,0214	34	0,0438	56	0,032	3
2,00	1,0280	1041	0,0549	66	0,020	0	0,0250	36	0,0496	58	0,035	3
1,90	1,1325	1045	0,0618	69	0,020	0	0,0291	41	0,0555	59	0,037	2
1,80	1,2375	1050	0,0690	72	0,019	−1	0,0336	45	0,0615	60	0,038	1
1,70	1,3431	1056	0,0766	76	0,018	1	0,0387	51	0,0677	62	0,039	1
1,60	1,4493	1062	0,0846	80	0,016	2	0,0444	57	0,0740	63	0,039	0
1,50	1,5563	1070	0,0930	84	0,013	3	0,0509	65	0,0803	63	6,038	−1
1,40	1,6643	1080	0,1018	88	0,008	5	0,0582	73	0,0865	62	0,036	2
1,30	1,7734	1091	0,1112	94	0,003	5	0,0667	85	0,0928	63	0,033	3
		1104		97		8		97		59		6
1,20	1,8838	—	0,1209	$r -$	0,005	$r^2 - \frac{\alpha U^2}{gH}($	0,0764	—	0,0987	$r +$	0,027	$r^2)$
1,10	1,9959	1121	0,1311	102	0,015	10	0,0877	113	0,1041	54	0,019	8
1,00	2,1101	1142	0,1423	112	0,027	12	0,1009	132	0,1090	49	0,009	10
0,95	2,1681	580	0,1481	58	0,034	7	0,1085	76	0,1110	20	0,002	7
		587		60		8		82		17		7
0,90	2,2268	—	0,1541	$r -$	0,042	$r^2 - \frac{\alpha U^2}{gH}($	0,1167	—	0,1127	$r -$	0,005	$r^2)$
0,85	2,2864	596	0,1602	61	0,051	9	0,1257	90	0,1141	14	0,014	9
0,80	2,3470	606	0,1666	64	0,061	10	0,1357	100	0,1150	9	0,024	10
0,75	2,4086	616	0,1732	66	0,072	11	0,1467	110	0,1153	3	0,035	11
0,70	2,4714	628	0,1801	69	0,085	13	0,1590	123	0,1148	−5	0,048	13
0,65	2,5358	644	0,1873	72	0,099	14	0,1727	137	0,1135	13	0,063	15
0,60	2,6019	661	0,1948	75	0,114	15	0,1881	154	0,1109	26	0,081	18
0,55	2,6701	682	0,2027	79	0,131	17	0,2056	175	0,1071	38	0,101	20
0,50	2,7409	708	0,2110	83	0,151	20	0,2255	199	0,1015	56	0,124	23
0,49	2,7354	145	0,2127	17	0,155	4	0,2299	44	0,1000	15	0,129	5
0,48	2,7700	146	0,2145	18	0,160	5	0,2344	45	0,0986	14	0,134	5
0,47	2,7848	148	0,2165	18	0,164	4	0,2390	46	0,0970	16	0,140	6
0,46	2,7997	149	0,2180	17	0,169	5	0,2437	47	0,0953	17	0,145	5
0,45	2,8147	150	0,2199	19	0,173	4	0,2486	49	0,0936	17	0,151	6
0,44	2,8299	152	0,2218	19	0,178	5	0,2536	50	0,0917	19	0,157	6
0,43	2,8453	154	0,2238	20	0,183	5	0,2588	52	0,0896	21	0,163	6
0,42	2,8609	156	0,2258	20	0,188	5	0,2642	54	0,0875	21	0,169	6
0,41	2,8767	158	0,2278	20	0,192	4	0,2698	56	0,0852	23	0,176	7
0,40	2,8926	159	0,2298	20	0,198	6	0,2755	57	0,0828	24	0,183	7
0,39	2,9087	161	0,2316	18	0,204	6	0,2814	59	0,0802	26	0,190	7
0,38	2,9250	163	0,2335	19	0,210	6	0,2876	62	0,0774	28	0,197	7
0,37	2,9415	165	0,2355	20	0,216	6	0,2940	64	0,0745	29	0,204	7
0,36	2,9583	168	0,2376	21	0,222	6	0,3006	66	0,0714	31	0,212	8
0,35	2,9734	171	0,2397	21	0,228	6	0,3074	68	0,0680	34	0,220	8
0,34	2,9927	173	0,2418	21	0,235	7	0,3145	71	0,0644	36	0,229	9
0,33	3,0103	176	0,2441	23	0,241	6	0,3219	74	0,0607	37	0,238	9
0,32	3,0282	179	0,2463	22	0,248	7	0,3296	77	0,0568	39	0,247	9
		182		24		7		80		43		9
0,31	3,0464	—	0,2487	$r -$	0,255	$r^2 - \frac{\alpha U^2}{gH}($	0,3376	—	0,0825	$r -$	0,256	$r^2)$

Suite de la deuxième table. Talus t = 1 sur 1

$\frac{y}{A}$ ou $\frac{y_0}{H}$	$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$	diff.		diff.		diff.		diff.		diff.		diff.
0,31	$3,0464 - 0,2487\,r - 0,255\,r^2 - \frac{\alpha U^2}{gH}(0,3376 - 0,0525\,r - 0,256\,r^2$											
0,30	3,0649	185	0,2511	24	0,263	8	0,3460	84	0,0479	46	0,266	
0,29	3,0839	190	0,2536	25	0,270	7	0,3547	87	0,0431	48	0,276	
0,28	3,1032	193	0,2560	24	0,278	8	0,3658	91	0,0379	52	0,287	
0,27	3,1229	197	0,2585	25	0,286	8	0,3733	95	0,0323	56	0,298	
0,26	3,1431	202	0,2611	26	0,295	9	0,3833	100	0,0265	58	0,310	
0,25	3,1638	207	0,2638	27	0,304	9	0,3937	104	0,0202	63	0,322	
0,24	3,1850	212	0,2666	28	0,313	9	0,4047	110	0,0134	68	0,338	
0,23	3,2068	218	0,2694	28	0,325	10	0,4163	116	0,0061	75	0,349	
0,22	$3,2292 - 0,2723\,r - 0,333\,r^2 - \frac{\alpha U^2}{gH}(0,4285 + 0,0016\,r - 0,363\,r^2$	224		29		10		122		77		
0,21	3,2524	232	0,2754	31	0,343	10	0,4414	129	0,0099	83	0,378	
0,20	3,2763	239	0,2785	31	0,354	11	0,4551	137	0,0190	91	0,394	
0,19	3,3010	247	0,2818	33	0,366	12	0,4696	145	0,0288	98	0,411	
0,18	3,3266	256	0,2852	34	0,378	12	0,4850	154	0,0394	106	0,429	
0,17	3,3533	267	0,2887	35	0,391	13	0,5014	164	0,0507	113	0,448	
0,16	3,3812	279	0,2924	37	0,405	14	0,5190	176	0,0632	125	0,469	
0,15	3,4104	292	0,2963	39	0,420	15	0,5380	190	0,0769	137	0,491	
0,14	3,4411	307	0,3004	41	0,435	15	0,5585	205	0,0918	149	0,514	
0,13	3,4736	325	0,3050	46	0,452	17	0,5807	222	0,1083	165	0,539	
0,12	3,5081	345	0,3097	47	0,470	18	0,6049	242	0,1266	183	0,567	
0,11	3,5450	369	0,3145	48	0,490	20	0,6315	266	0,1470	204	0,598	
0,10	3,5847	397	0,3197	52	0,511	21	0,6610	295	0,1698	228	0,631	
0,09	3,6278	431	0,3256	59	0,534	23	0,6938	328	0,1957	259	0,668	
0,08	3,6752	474	0,3321	65	0,561	27	0,7309	371	0,2254	297	0,710	
0,07	3,7280	528	0,3392	71	0,591	30	0,7734	425	0,2598	344	0,758	
0,06	3,7877	597	0,3468	76	0,626	35	0,8230	496	0,3006	408	0,813	
0,05	3,8575	696	0,3560	92	0,668	42	0,8823	593	0,3502	496	0,879	
0,048	3,8727	154	0,3573	15	0,681	13	0,8956	133	0,3614	112	0,894	
0,046	3,8887	160	0,3596	21	0,691	10	0,9095	139	0,3732	118	0,910	
0,044	3,9053	166	0,3619	23	0,701	10	0,9241	146	0,3855	123	0,926	
0,042	3,9227	174	0,3642	23	0,712	11	0,9394	153	0,3984	129	0,945	
0,040	3,9408	181	0,3666	24	0,723	11	0,9555	161	0,4120	136	0,961	
0,038	3,9598	190	0,3692	26	0,734	11	0,9724	169	0,4264	144	0,979	
0,036	3,9798	200	0,3720	28	0,746	12	0,9903	179	0,4417	153	0,999	
0,034	4,0008	210	0,3750	30	0,759	13	1,0093	190	0,4580	163	1,020	
0,032	4,0230	222	0,3781	31	0,772	13	1,0294	201	0,4752	172	1,042	
0,030	4,0465	235	0,3813	32	0,786	14	1,0509	215	0,4936	184	1,066	
0,028	4,0716	251	0,3847	34	0,801	15	1,0739	230	0,5135	209	1,091	
0,026	4,0984	268	0,3885	38	0,817	16	1,0987	248	0,5350	215	1,119	
0,024	4,1273	289	0,3925	40	0,835	18	1,1255	268	0,5583	233	1,148	
0,022	4,1585	312	0,3968	43	0,854	19	1,1547	292	0,5837	254	1,180	
0,020	4,1927	342	0,4015	47	0,875	21	1,1868	321	0,6117	280	1,216	
0,019	4,2110	183	0,4040	25	0,886	11	1,2040	172	0,6267	150	1,234	
0,018	4,2305	195	0,4067	27	0,898	12	1,2223	183	0,6427	160	1,254	
0,017	4,2506	205	0,4095	28	0,911	13	1,2416	193	0,6596	169	1,275	
0,016	4,2721	215	0,4125	30	0,924	13	1,2620	204	0,6776	180	1,298	
0,015	4,2949	228	0,4157	32	0,938	14	1,2838	218	0,6968	192	1,322	
0,014	4,3193	244	0,4190	33	0,953	15	1,3072	234	0,7174	206	1,347	
0,013	4,3455	262	0,4227	37	0,969	16	1,3323	251	0,7395	221	1,373	
0,012	4,3737	282	0,4267	40	0,987	18	1,3595	272	0,7634	239	1,409	
0,011	4,4043	306	0,4309	42	1,006	19	1,3891	296	0,7895	261	1,437	
0,010	$4,4377 - 0,4356\,r - 1,026\,r^2 - \frac{\alpha U^2}{gH}(0,4215 + 0,8481\,r - 1,472\,r^2$	334		47		20		324		286		

Troisième table. Talus 1 = 2 sur 1.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$	diff.		diff.		diff.		diff.		diff.		diff.
3,00	0,0000 — 0,0000 r + 0,000 r² — $\frac{\alpha U^2}{gH}$ (0,0000 — 0,0000 r + 0,000 r²)											
2,90	0,1019	1019	0,0099	99	0,015	15	0,0017	17	0,0076	76	0,011	11
2,80	0,2039	1020	0,0204	105	0,031	16	0,0034	17	0,0157	81	0,023	12
2,70	0,3061	1022	0,0315	111	0,048	17	0,0054	20	0,0242	85	0,035	12
2,60	0,4085	1024	0,0433	118	0,065	17	0,0075	21	0,0331	89	0,047	12
2,50	0,5110	1025	0,0559	126	0,084	19	0,0098	23	0,0424	93	0,060	13
2,40	0,6138	1028	0,0692	133	0,103	19	0,0123	25	0,0523	99	0,073	13
2,30	0,7169	1031	0,0833	141	0,123	20	0,0150	27	0,0628	105	0,087	14
2,20	0,8202	1033	0,0985	152	0,144	21	0,0180	30	0,0738	110	0,100	13
2,10	0,9239	1037	0,1147	162	0,166	22	0,0214	34	0,0853	115	0,114	14
2,00	1,0280	1041	0,1321	174	0,190	24	0,0250	36	0,0975	122	0,128	14
1,90	1,1325	1045	0,1507	186	0,214	24	0,0291	41	0,1103	128	0,142	14
1,80	1,2375	1050	0,1705	198	0,239	25	0,0336	45	0,1238	135	0,156	14
1,70	1,3431	1056	0,1918	213	0,265	26	0,0387	51	0,1378	140	0,170	14
1,60	1,4493	1062	0,2147	229	0,292	27	0,0444	57	0,1525	147	0,184	14
1,50	1,5563	1070	0,2396	249	0,321	29	0,0509	65	0,1679	154	0,196	12
1,40	1,6643	1080	0,2665	269	0,351	30	0,0582	73	0,1839	160	0,207	11
1,30	1,7734	1091	0,2955	290	0,381	30	0,0667	85	0,2004	165	0,217	10
1,20	1,8838	1104	0,3271	316	0,412	31	0,0764	97	0,2172	168	0,225	8
1,10	1,9959	1121	0,3614	343	0,444	32	0,0877	113	0,2342	170	0,229	4
1,00	2,1101	1142	0,3995	381	0,477	33	0,1009	132	0,2511	169	0,229	0
0,95	2,1681	580	0,4199	204	0,494	17	0,1085	76	0,2594	83	0,227	—2
0,90	2,2268	587	0,4413	214	0,510	16	0,1167	82	0,2675	81	0,224	3
0,85	2,2864	596	0,4638	225	0,527	17	0,1257	90	0,2752	77	0,218	6
0,80	2,3470	606	0,4873	237	0,543	16	0,1357	100	0,2825	73	0,210	8
0,75	2,4086	616	0,5127	252	0,559	16	0,1467	110	0,2892	67	0,199	11
0,70	2,4714	628	0,5393	266	0,575	16	0,1590	123	0,2952	60	0,186	13
0,65	2,5358	644	0,5675	282	0,591	16	0,1727	137	0,3000	48	0,169	17
0,60	2,6019	661	0,5978	303	0,606	15	0,1881	154	0,3035	35	0,147	22
0,55	2,6701	682	0,6302	324	0,621	15	0,2056	175	0,3053	18	0,120	27
0,50	2,7409	708	0,6651	349	0,634	13	0,2255	199	0,3048	—5	0,087	33
0,49	2,7554	145	0,6723	72	0,637	3	0,2299	44	0,3042	6	0,079	8
0,48	2,7700	146	0,6798	75	0,639	2	0,2344	45	0,3037	5	0,072	7
0,47	2,7848	148	0,6875	77	0,642	3	0,2390	46	0,3031	6	0,064	8
0,46	2,7997	149	0,6952	77	0,644	2	0,2437	47	0,3023	8	0,056	8
0,45	2,8147	150	0,7030	78	0,647	3	0,2486	49	0,3013	10	0,047	9
0,44	2,8299	152	0,7110	80	0,649	2	0,2536	50	0,3002	11	0,038	9
0,43	2,8453	154	0,7192	82	0,651	2	0,2588	52	0,2990	12	0,029	9
0,42	2,8609	156	0,7276	84	0,554	3	0,2642	54	0,2976	14	0,019	10
0,41	2,8767	158	0,7362	86	0,657	3	0,2698	56	0,2959	17	0,008	11
		159		86		2		57		19		11
0,40	2,8926 — 0,7448 r + 0,659 r² — $\frac{\alpha U^2}{gH}$ 0,2785 — 0,2940 r — 0,006 r²											
0,39	2,9087	161	0,7535	87	0,660	1	0,2814	59	0,2919	21	0,014	11
0,38	2,9250	163	0,7624	89	0,662	2	0,2876	62	0,2896	23	0,026	12
0,37	2,9415	165	0,7716	92	0,664	2	0,2940	64	0,2871	25	0,038	12
0,36	2,9583	168	0,7809	93	0,666	2	0,3006	66	0,2843	28	0,051	13
0,35	2,9754	171	0,7905	96	0,667	1	0,3074	68	0,2812	31	0,064	13
0,34	2,9927	173	0,8003	98	0,669	2	0,3145	71	0,2779	33	0,078	14
0,33	3,0105	176	0,8104	101	0,671	2	0,3219	74	0,2742	37	0,093	15
0,32	3,0282	179	0,8207	103	0,672	1	0,3296	77	0,2702	40	0,108	15
0,31	3,0464	182	0,8313	106	0,674	2	0,3376	80	0,2658	44	0,124	16
		185		109		1		84		47		17
0,30	3,0649 — 0,8422 r + 0,673 r² — $\frac{\alpha U^2}{gH}$ 0,3460 — 0,2611 r — 0,141 r²											

Suite de la troisième table. Talus t = 2 sur 1.

$\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$	$\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$											
		diff.		diff.		diff.		diff.		diff.		diff.
0,30	3,0649	—	0,8422 r	+	0,675 r²	— $\frac{\alpha U^2}{gH}$	(0,3460	—	0,2611 r	—	0,141 r²)	
0,29	3,0839	190	0,8534	112	0,676	1	0,3547	87	0,2559	52	0,159	18
0,28	3,1032	193	0,8650	116	0,677	1	0,3638	91	0,2502	57	0,177	18
0,27	3,1229	197	0,8769	119	0,678	1	0,3733	95	0,2440	62	0,197	20
0,26	3,1431	202	0,8891	122	0,679	1	0,3833	100	0,2374	66	0,217	20
0,25	3 1638	207	0,9017	126	0,679	0	0,3937	104	0 2302	72	0,239	22
0,24	3,1850	212	0,9147	130	0,679	0	0,4047	110	0,2223	79	0,262	23
0,23	3,2068	218	0,9282	135	0,680	1	0,4163	116	0,2137	86	0,286	24
0,22	3,2292	224	0,9422	140	0,679	—1	0,4285	122	0,2043	94	0,311	25
0,21	3,2524	232	0,9568	146	0,679	0	0,4414	129	0,1941	102	0,338	27
0,20	3,2763	239	0,9720	152	0,679	0	0,4551	137	0,1831	110	0,366	28
0,19	3,3010	247	0,9878	158	0,678	1	0,4696	145	0,1710	121	0,397	31
0,18	3,3266	256	1,0043	165	0,677	1	0,4850	154	0,1577	133	0,429	32
0,17	3,3533	267	1,0217	174	0,676	1	0,5014	164	0,1431	146	0,464	35
0,16	3,3812	279	1,0399	182	0,674	2	0,5190	176	0,1270	161	0,501	37
0,15	3,4104	292	1,0592	193	0,672	2	0,5380	190	0,1093	177	0,541	40
0,14	3,4411	307	1,0798	206	0,670	2	0,5585	205	0,0899	194	0,584	43
0,13	3,4736	325	1,1017	219	0,668	2	0,5807	222	0,0683	216	0,631	47
0,12	3,5081	345	1,1250	233	0,663	5	0,6049	242	0,0440	243	0,681	50
0,11	3,5450	369	1,1499	249	0,659	4	0,6315	266	0,0166	274	0,737	56
		397		272		5		295		308		62
0,10	3,5847	—	1,1771 r	+	0,654 r²	— $\frac{\alpha U^2}{gH}$	(0,6610	+	0,0142 r	—	0,799 r²)	
0,09	3,6278	431	1,2071	300	0,648	6	0,6938	328	0,0494	352	0,867	[illegible]
0,08	3,6752	474	1,2402	331	0,641	7	0,7309	371	0,0899	405	0,945	[illegible]
0,07	3,7280	528	1,2775	373	0,633	8	0,7734	425	0,1372	473	1,033	[illegible]
0,06	3,7877	597	1,3195	418	0,620	13	0,8230	496	0,1937	565	1,136	[illegible]
0,05	3,8573	696	1,3688	495	0,607	13	0,8823	593	0,2626	689	1,259	[illegible]
0,048	3,8727	154	1,3798	110	0 604	3	0,8956	133	0,2783	157	1,286	[illegible]
0,046	3,8887	160	1,3913	115	0,601	3	0,9095	139	0,2947	164	1,315	[illegible]
0,044	3 9053	166	1,4033	120	0,598	3	0,9241	146	0,3119	172	1,345	[illegible]
0,042	3,9227	174	1,4159	126	0,594	4	0,9394	153	0,3301	182	1,377	[illegible]
0,040	3,9408	181	1,4289	130	0,590	4	0,9555	161	0,3493	192	1,410	[illegible]
0,038	3,9598	190	1,4427	138	0,586	4	0,9724	169	0,3696	203	1,443	[illegible]
0.036	3,9798	200	1,4572	145	0,582	4	0,9903	179	0,3910	214	1,481	[illegible]
0,034	4,0008	210	1,4725	153	0,578	4	1,0093	190	0,4138	228	1,520	[illegible]
0,032	4,0230	222	1,4887	162	0.573	5	1,0294	201	0,4381	243	1,562	[illegible]
0,030	4,0465	235	1.5058	171	0,568	5	1,0509	215	0,4642	261	1,606	[illegible]
0,028	4.0716	251	1,5240	182	0.562	6	1,0739	230	0,4924	282	1,653	[illegible]
0,026	4,0984	268	1,5436	196	0.556	6	1,0987	248	0,5227	303	1,704	[illegible]
0,024	4,1273	289	1,5648	212	0.549	7	1,1255	268	0,5556	329	1,759	[illegible]
0,022	4,1585	312	1,5877	229	0,542	7	1,1547	292	0,5915	359	1,818	[illegible]
0,020	4 1927	342	1,6128	251	0,534	8	1,1868	321	0,6312	397	1,884	[illegible]
0,019	4,2110	183	1,6263	135	0,530	4	1,2040	172	0,6525	213	1,919	[illegible]
0,018	4,2303	193	1,6405	142	0,525	5	1,2223	183	0,6752	227	1,956	[illegible]
0,017	4,2506	203	1,6554	149	0.520	5	1,2416	193	0.6993	241	1,996	[illegible]
0,016	4,2721	215	1,6712	158	0,515	5	1,2620	204	0,7248	255	2,038	[illegible]
0,015	4,2949	228	1,6881	169	0,510	5	1,2838	218	0,7520	272	2,082	[illegible]
0,014	4,3193	244	1,7060	179	0,503	7	1,3072	234	0,7812	292	2,129	[illegible]
0,013	4,3455	262	1,7254	194	0,497	6	1,3325	251	0,8127	315	2,180	[illegible]
0,012	4.3737	282	1,7463	209	0,490	7	1,3595	272	0,8468	341	2,236	[illegible]
0,011	4,4043	306	1,7690	227	0,483	7	1,3891	296	0,8839	371	2,296	[illegible]
		334		247		9		324		408		[illegible]
0,010	4,4377	—	1,7937 r	+	0,474 r²	— $\frac{\alpha U^2}{gH}$	(1,4215	+	0,9247 r	—	2,362 r²)	

40. *Usage des tables de remous.*

Connaissant la grandeur y_0 du relèvement y de l'eau à un endroit déterminé d'un courant, par exemple immédiatement en amont d'un barrage, la pente i du fond et la profondeur d'eau primitive H au-dessus, si l'on veut savoir à quelle distance $s - s_0$, ce relèvement aura une autre grandeur y, on n'a qu'à chercher dans la colonne $\frac{y}{H}$ ou $\frac{y_0}{H}$ de celles des tables soit de l'article 37, soit de l'article 39 qui convient au talus des bords (*), les deux rapports $\frac{y_0}{H}, \frac{y}{H}$ répondant à ces deux grandeurs données du relèvement : la différence des deux nombres correspondants de la colonne $\frac{is}{H}$ ou $\frac{is_0}{H}$ donnera $\frac{i(s - s_0)}{H}$, ou la distance cherchée $s - s_0$ divisée par la profondeur primitive H et multipliée par la pente de fond i.

Réciproquement, si l'on veut savoir quel relèvement y on aura à une distance donnée $s - s_0$ du point où le relèvement a la grandeur donnée y_0, on ajoutera $\frac{i(s - s_0)}{H}$ à la valeur $\frac{is_0}{H}$ répondant dans

(*) Si les talus n'étaient ni abrupts ($t = 0$) ni à 1 ni à 2 sur 1 ($t = 1$, $t = 2$), on pourrait facilement interpoler entre les trois tables de l'art. 39, soit par différences proportionnelles, soit paraboliquement, au moyen d'une formule semblable à celle (47) de l'art. 39. Cette formule pourrait servir à obtenir deux et même six autres tables applicables à des talus t croissant par 1/2 et même par 1/4. Nous ne nous y arrêterons pas. Nous supposons que l'on *assimilera* approximativement le courant à un autre dont les talus aient les valeurs $t = 0$, 1 ou 2 (voir art. 44).

la table à $\frac{y_0}{H}$, ce qui donnera $\frac{is}{H}$. On cherchera celui-ci à la table, et le $\frac{y}{H}$ correspondant donnera, en le multipliant par H, le relèvement cherché y.

Voici quelques exemples de calcul.

Premier exemple. Un barrage élève l'eau de $2^m,40$ dans une rivière dont le lit est assimilable à un canal trapèze avec talus de 1 sur 1, où la profondeur d'eau, avant le relèvement, était $1^m,20$, la largeur moyenne $7^m,20$, et la pente 0,00075.

On demande à quelle distance en amont du barrage le relèvement sera réduit à $0^m,06$?

On a

$$t=1,\quad r=\frac{1,20}{7,20}=\frac{1}{6},\quad i=0,00075.$$

Si la vitesse U n'a pas été mesurée, on peut la déduire du rayon moyen

$$\frac{7,20\times 1,20}{6,00+2\times 1,20\sqrt{2}}=0^m,9197,$$

dont le produit 0,000689775 par la pente i répond, dans la table usuelle de l'article 14 ci-dessus, à $U=1^m,3286$, ce qui donne, en supposant égal à 1, 1 le coefficient α, $\frac{\alpha U^2}{gH}=0,1648$.

On a, en conséquence (5e table $t=1$, $r=1/6$ de l'art. 37) :

Pour $\frac{y_0}{H}=\frac{2,40}{1,20}=2,00$,

$$\frac{is_0}{H}=1,0194-\frac{\alpha U^2}{gH}\cdot 0,0177=\ldots\ldots\quad 1,0165$$

Pour $\frac{y}{H} = \frac{0,06}{1,20} = 0,05$,

$$\frac{is}{H} = 3,7794 - \frac{\alpha U^2}{gH} \cdot 0,9162 = \ldots \quad 3,6284$$

D'où $\frac{i}{H}(s - s_0) = \ldots\ldots \quad 2,6119$

La distance cherchée, obtenue en multipliant par $H = 1,20$ et divisant par $i = 0,00075$ est

$$S - S_0 = 2,6119 \times 1600 = 4179 \text{ mètres.}$$

Deuxième exemple. Même problème et mêmes données, excepté que la largeur moyenne primitive de l'eau est 12 mètres.

Alors $r = \frac{1}{10}$. Il convient de se servir des tables avec r quelconque de l'art. 39.

La dernière, relative à $t = 1$, fournit facilement pour cette valeur de r et en ayant égard à ce qu'un calcul de U par le rayon moyen donne $\frac{\alpha U^2}{gH} = 0,183$:

$$\text{Pour } \frac{y_0}{H} = 2, \quad \frac{is_0}{H} = 1,0227 - \frac{\alpha U^2}{gH} \cdot 0,0296 = 1,0173$$

$$\frac{y}{H} = 0,05, \quad \frac{is}{H} = 3,8150 - \frac{\alpha U^2}{gH} \cdot 0,9085 = 3,6487$$

Différence. 2,6314

D'où la distance

$$s - s_0 = \frac{H}{i} \cdot 2,6314 = 4210 \text{ mètres.}$$

Troisième exemple. Mêmes données qu'au premier exemple. On demande quel relèvement

d'eau ou remous aura lieu à une distance de 2000 mètres en amont du barrage?

En multipliant par $\frac{H}{i} = 1600$ la valeur $\frac{is_0}{H} = 1{,}0165$ relative à $\frac{y_0}{H} = 2{,}00$ trouvée précédemment, on a pour l'abscisse du barrage

$$s_0 = 1626.$$

c'est-à-dire que l'origine des s et s_0 est à 1626 mètres en aval.

A la distance $s - s_0 = 2000$ en amont de ce barrage on aura

$$s = 2000 + 1626 = 3626,$$

d'où

$$\frac{is}{H} = \frac{3626}{1600} = 2{,}2662.$$

En cherchant dans la cinquième table de l'article 37, pour laquelle $t = 1$, $r = \frac{1}{6}$, cette valeur de $\frac{is}{H}$, on trouve que, si l'on négligeait le terme affecté de $\frac{\alpha U^2}{gH}$, elle répondrait à $\frac{y}{H} = 0{,}8433$. En tenant compte de ce terme et de la valeur $\frac{\alpha U^2}{gH} = 0{,}1648$, on a pour les deux valeurs de $\frac{y}{H}$ les plus proches,

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}85;\ldots\ 2{,}2583 - 0{,}0017 = 2{,}2566 \\ 0{,}80;\ldots\ 2{,}3175 - 0{,}0019 = 2{,}3175 \end{array}\right\}\text{Différence } 0{,}0590.$$

D'où il suit que, pour $\frac{is}{H} = 2,2662$, on a

$$\frac{y}{H} = 0,8419.$$

Multipliant par $H = 1,20$, on a pour le relèvement cherché

$$y = 1^m 010.$$

Le relèvement *hydrostatique*, ou dû à une surface d'eau horizontale au niveau de l'eau immédiatement en amont du barrage, n'eût été que $2,40 - 2000 \times 0,00075 = 0^m,90$. La différence entre ces deux relèvements est bien plus forte à de plus grandes distances du barrage.

41. *Cas de valeur de $\frac{y}{H}$ très-grandes ou très-petites.*

Pour bien connaître la forme du remous il convient d'examiner ce que devient $\frac{i(s - s_0)}{H}$ pour les très-grandes et les très-petites valeurs de $\frac{y}{H}$. Alors son expression (46) de l'art. 35 prend des formes plus simples, sous lesquelles on peut l'employer pour étendre facilement les tables au delà de $\frac{y}{H} = 0,01$ ou en deçà de $\frac{y}{H} = 3$.

1° Pour les très-petites valeurs de $\frac{y}{H}$, si l'on fait

$$(m+1)(1+rt) - r' = K,$$

$$(m+1)\left[\frac{m+2}{2}(1+r^2t^2) + (m+1)rt - r'(1+rt)\right] = K',$$

on a, en développant le dénominateur de (46) suivant les puissances de $\frac{y}{H}$ et en désignant par K''... d'autres coefficients :

$$1-\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-m-1}\left(1+rt\frac{y}{H}\right)^{-m-1}\left(1+r'\frac{y}{H}\right)=$$
$$=K\frac{y}{H}-K'\frac{y^2}{H^2}+K''\frac{y^3}{H^3}+\ldots\ldots$$

Si l'on divise l'unité par cette expression pour avoir la première quantité sous le signe $\int$, et si, pour avoir la seconde, on multiplie le quotient par

$$\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-3}\left(1+rt\frac{y}{H}\right)^{-3}\left(1+rt+2rt\frac{y}{H}\right)=$$
$$=(1+rt)\left[1-\left(3+3rt-\frac{2rt}{1+rt}\right)\frac{y}{H}+\ldots\ldots\right]$$

on a, en intégrant et ne conservant point ce qui sera affecté du carré et des puissances supérieures de $\frac{y}{H}$, $\frac{y_0}{H}$:

$$(48)\quad \frac{i(s-s_0)}{H}=\frac{1-(1+rt)\frac{\alpha U^2}{gH}}{K}\,\text{log. hyp.}\,\frac{y_0}{y}+$$
$$+\left[\frac{K'}{K^2}+\frac{3(1+rt)^2-2rt}{K}\cdot\frac{\alpha U^2}{gH}\right]\frac{y_0-y}{H}.$$

Le second membre devient infini pour $y=0$, lorsque

$$(1+rt)\frac{\alpha U^2}{gH}<1,$$

ce qui est le cas des courants ordinaires. *La courbe d'eau relevée a donc pour asymptote la*

ligne de pente de l'eau non relevée dans ces courants non torrentueux.

Il en est autrement si $(1+rt)\frac{\alpha U^2}{gH}=1$. Le premier terme du second membre disparaît. La partie de la courbe d'eau relevée dont nous nous occupons, où les $\frac{y}{H}$, $\frac{y_0}{H}$ sont très-petits, devient une ligne droite rencontrant la ligne de pente primitive de l'eau à une distance finie qui est la valeur de s donnée par l'équation précédente en effaçant le premier terme du second membre et faisant $y=0$ dans le second.

Les tables ne doivent être appliquées que dans la limite $\frac{\alpha U^2}{gH}<\frac{1}{1+rt}$, comme nous l'avons déjà dit, art. 38. Il convient même de se tenir en deçà, vu que les irrégularités du fond et des bords font manifester les phénomènes torrentueux avant de l'avoir atteinte.

2° Pour les valeurs de $\frac{y}{H}$ très-grandes par rapport à 1, $\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-m-1}$ est très-petit devant 1, et comme $\left(1+rt\frac{y}{H}\right)^{-m-1}$ est au plus égal à 1, et $1+r'\frac{y}{H}$ moindre que $1+\frac{y}{H}$, le produit de ces trois facteurs est moindre que $\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-m}$. On peut donc diviser le numérateur par le dénominateur des expressions qui multiplient

$d\left(\frac{y}{H}\right)$ sous les signes $\int$ de l'équation (46) de l'article 35 en négligeant le carré et les puissances supérieures du second terme du dénominateur, qui n'est autre chose que ce produit. Elle prend, si $rt = 0$, c'est-à-dire si le canal est ou rectangulaire ($t = 0$) ou très-large par rapport à sa profondeur ($r = 0$), la forme suivante :

$$\frac{i(s-s_0)}{H} = \int_{\frac{y}{H}}^{\frac{y_0}{H}} \left[1 + \left(1 + r'\frac{y}{H}\right)\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-m-1}\right] d\frac{y}{H} -$$

$$- \frac{\alpha U^2}{gH}\int_{\frac{y}{H}}^{\frac{y_0}{H}} \left[\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-3} + \left(1+r'\frac{y}{H}\right)^{-3}\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-m-4}\right] d\frac{y}{H},$$

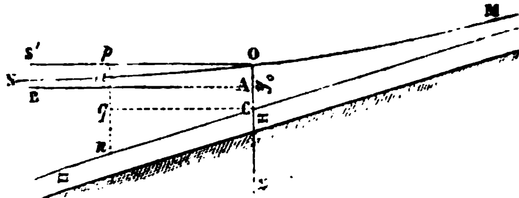
où les intégrations s'effectuent facilement par parties, ce qui donne, en transposant la portion du premier terme fournie par $\int d\frac{y}{H}$ et en multipliant par H :

$$(49) \qquad y_0 - y - i(s-s_0) = \left\{ \frac{H + r'\frac{H+my_0}{m-1}}{m\left(1+\frac{y_0}{H}\right)^m} - \right.$$

$$\left. - \frac{\alpha U^2}{gH}\left[\frac{H}{2\left(1+\frac{y_0}{H}\right)^2} + \frac{H + r'\frac{H+(m+3)y_0}{m+2}}{(m+3)\left(1+\frac{y_0}{H}\right)^{m+2}}\right]\right\} -$$

$$- \{\text{La même chose en } y \text{ au lieu de } y_0\}.$$

Pour tirer, de cette équation en s et y, une équation de la courbe MN de l'eau relevée, rapportée à des coordonnées rectangulaires, prenons pour origine le point O de cette courbe pour le-



quel $y = OC = y_0$, $s = s_0$; prenons pour abscisse l'horizontale $Op = s'$ comptée dans le sens du courant, et pour ordonnée la verticale $pm = z$ comptée dans le sens de la pesanteur. Comme $pm + mn = pq + qn$, n et q étant les points de rencontre de cette ordonnée prolongé avec la surface primitive de l'eau nC et avec horizontale Cq menée par le point C, on a:

$$z + y = y_0 + is, \quad s - s_0 = -s',$$

d'où

$$y_0 - y - i(s - s_0) = z, \quad y = y_0 + is' - z.$$

Substituant, on obtient pour l'équation de la courbe d'eau entre les coordonnées s' et z.

$z = \left\{\begin{array}{l}\text{La première partie du}\\ \text{second membre de}\\ \text{l'équation (49),}\end{array}\right\} - \left\{\begin{array}{l}\text{La même chose en met-}\\ \text{tant } y_0 + is' - z \text{ au}\\ \text{lieu de } y_0.\end{array}\right\}$

Or, en faisant $is = \infty$, cette deuxième partie du second membre s'évanouit, et il reste:

$$z = \{\text{La première partie entre accolades}\}.$$

La courbe de l'eau relevée a donc une asymptote horizontale AB (*) qui passe au-dessous de l'origine O, ou du point pour lequel le relèvement est y_0 (supposé déjà grand par rapport à H) à une

(*) On pouvait déjà reconnaître l'existence d'une pareille asymptote d'après l'équation (44) de l'art. 34, qui donne $\frac{dh}{ids} = 1$ pour ω infini.

distance verticale OA égale à la première partie ou accolade du second membre de l'équation (49).

Si, par exemple, on prend pour l'origine O le point jusqu'où s'étendent le plus nos tables vers l'aval, c'est-à-dire si $\frac{y_0}{H}=3$, on trouve pour l'équation de l'asymptote, en remettant pour m sa valeur $\frac{21}{11}$:

$$z=H\left[0{,}03714+0{,}27480r'-\frac{\alpha U^2}{gH}(0{,}03148+0{,}00058r')\right]$$

Sa position est, comme l'on voit, indépendante de la pente i, si ce n'est en tant que U et H peuvent en dépendre.

Lorque $\frac{\alpha U^2}{gH}$ est négligeable devant 1, et que le canal est assez large pour que $r'=\frac{2r}{1+2r}$ soit négligeable aussi, on a, comme l'on voit, $z=0{,}0371H$ en sorte que l'asymptote horizontale passe au $\frac{1}{27}$ environ de la profondeur primitive H, au-dessous du niveau de la surface de l'eau à l'endroit où elle est relevée du triple de cette profondeur; niveau que l'on trouve toujours au moyen de la première table de l'article 37, si le point connu de la surface relevée répond à un relèvement différent, inférieur à 3H.

Si r' n'est pas nul, ou si la section d'eau primitive, supposée alors rectangulaire, a une certaine profondeur par rapport à la largeur, on voit que la distance verticale z de l'asymptote horizontale

varie par équidifférences avec le rapport r'. On a respectivement pour

$$r=\frac{1}{6} \text{ et } r=\frac{1}{3}, \text{ ou pour } r'=\frac{1}{4} \text{ et } r'=\frac{2}{5}, \frac{\alpha U^2}{gH}$$

étant toujours négligeable.

$$z=H\left(0,1058-0,0316\frac{\alpha U^2}{gH}\right)$$

et

$$z=H\left(0,1471-0,0317\frac{\alpha U^2}{gH}\right).$$

L'asymptote passe environ à $\frac{1}{10}$ et à $\frac{1}{7}$ de la profondeur H, au-dessous du niveau du point pour lequel $y=3H$.

42. *Solutions graphiques approchées.*

La loi du remous ou la forme de sa courbe étant ainsi connue, on peut en tirer une solution graphique très-expéditive du problème de relèvement des eaux, suffisamment approchée pour un grand nombre de cas de la pratique.

On atteindrait ce but d'une manière très-simple en traçant des lignes courbes ayant pour abscisses les grandeurs de $\frac{is}{H}$, et, pour ordonnées rectangulaires, les grandeurs correspondantes de $\frac{y}{H}$ données par les diverses colonnes des tables de l'art. 37. Mais les solutions seront plus ostensibles en traçant des types de la courbe même qu'affectent les eaux relevées.

C'est ce qu'on a fait à la *fig.* 7. Elle offre, dans

diverses hypothèses sur t, sur r, sur $\frac{\alpha U^2}{gH}$, le profil longitudinal de ces eaux pour

$$H = 0^m,10, \quad i = 1,$$

c'est-à-dire *pour une profondeur de régime uniforme d'un décimètre et pour une pente de fond égale à l'unité.* Leur asymptote supérieure commune est ainsi une ligne inclinée à 1 sur 1 ou à 45 degrés, tracée à $0^m,10$ au-dessus du fond, et représentant le profil longitudinal de la surface d'eau primitive.

Chacune de ces courbes est, par cela seul (et sans qu'il soit aucunement nécessaire de supposer que les formules restent applicables jusqu'à $i=1$) le profil en longueur de l'eau *pour une profondeur primitive quelconque* H *et une pente de fond* i *aussi quelconque en regardant les ordonnées d'eau verticales comme rapportées à une échelle de* $0^m,10$ *pour chaque hauteur égale à* H, *et les distances horizontales à une échelle de* $0^m,10$ *pour chaque distance égale à* $\frac{1}{i}$H; en sorte que si, par exemple, on a $H = 1$ mètre, $i = \frac{1}{1000}$, la *fig.* 7 représente chaque courbe à une échelle de hauteurs de 1 sur 10 et à une échelle de longueurs horizontales de 1 sur 10000.

Les sept courbes pleines sont relatives à $\frac{\alpha U^2}{gH} = 0$.

Celle dont le trait est le plus gros est relative à $r = 0$.

Celles relatives à $r = 1/6$ et $1/3$ sont au-dessus

pour les canaux rectangulaires et tombent au-dessous, comme l'on voit, pour les canaux à talus de 1 et de 2 sur 1.

Les sept courbes ponctuées que l'on voit un peu au-dessous de chaque courbe pleine sont relatives à $\frac{\alpha U^2}{gH} = 0,10$.

Les abscisses horizontales de ces quatorze courbes sont les valeurs de $\frac{is}{H}$ tirées des tables. Leurs ordonnées verticales sont les $\frac{y}{H}$ portés au-dessus de la ligne d'eau primitive inclinée à 45 degrés, ou les $\frac{y}{H} + \frac{is}{H} - 3$ au-dessus de la ligne horizontale tirée du point pour lequel $\frac{y}{H} = 3$. Les lignes à 45 degrés tracées de centimètre en centimètre facilitent beaucoup la détermination des points.

43. *Exemples de ces solutions approchées.*

Si un problème quelconque est proposé sur la suite des hauteurs du relèvement d'un cours d'eau, il se trouvera résolu en déterminant simplement quelle est la courbe représentant l'eau relevée, et à quel endroit de cette courbe se trouve le barrage ou l'autre point particulier pour lequel le relèvement d'eau est donné.

Par exemple, s'il est question d'un canal rectangulaire de 7m,20 de largeur et de 0,00048 de pente de fond i, où la profondeur d'eau primitive $H = 1^m,20$ se trouve portée à $H + y = 3$ mètres

en un point où l'on a fait un barrage, comme il résulte de ces données, $r=\frac{1}{6}$, et (n° 36) $\frac{\alpha U^2}{gH}$ très-peu différent de $\frac{1}{10}$, le *remous est représenté par la deuxième courbe ponctuée vers le haut de la fig. 7*. Le point de cette courbe où se trouve le barrage est celui pour lequel $\frac{y}{H}=\frac{3-1,20}{1,20}=1,50$, et est par conséquent le point où cette courbe est coupée par la ligne à 45 degrés relative à $\frac{y}{H}=1,50$. Tous les autres points de la même courbe ponctuée donneront, par leurs distances verticales et horizontales au point ainsi déterminé (ces distances étant aux échelles respectives de $0^m,10$ pour $1^m,20$ et de $0^m,10$ pour $2500=\frac{1,20}{0,00048}$) les niveaux et les situations de tous les points de la surface d'eau relevée.

Si $\frac{\alpha U^2}{gH}$ au lieu d'être $=0,1$, a pour valeur 0,075, on prendra, au lieu de la courbe ponctuée dont nous venons de faire usage, une courbe que l'on peut, si l'on veut, tracer au crayon dans l'intervalle de celle-ci et de la courbe pleine correspondante en partageant les distances des points de ces deux courbes de manière qu'il y en ait à peu près 1/4 du côté de la courbe ponctuée et 3/4 du côté de la courbe pleine.

Si $\frac{\alpha U^2}{gH}=1,25$, le 1/4 sera pris au delà de la

courbe ponctuée, ou en sus de l'intervalle, et ainsi de même pour toute autre valeur de $\frac{\alpha U^2}{gH}$, qui dépassera rarement 0,2 dans les applications. Il faut faire attention que ces distances entre les *courbes* devront être prises, non pas dans un sens normal, mais dans le sens des lignes tracées à 45 degrés, car d'après les tables, comme d'après l'équation (46) du n° 35, ce n'est que pour des grandeurs égales de $\frac{y}{H}$ que les $\frac{is}{H}$ varient proportionnellement aux $\frac{\alpha U^2}{gH}$.

Si le rapport r de la profondeur à la largeur d'eau primitive a une grandeur qui ne soit ni zéro (ou très-petite), ni 1/6 ni 1/3, on pourra encore tracer une courbe au crayon dont on arbitrera très-approximativement la situation, sans calcul d'interpolation, d'après l'aspect de celles des trois courbes $r=0$, $r=1/6$, $r=1/3$ ayant mêmes valeurs de t. Un tracé analogue serait aussi possible si le talus t n'était ni 0, ni 1, ni 2.

Mais comme on n'a besoin de toutes ces courbes nouvelles que pour quelques points, deux seulement à l'ordinaire, savoir celui où l'on connait et celui où l'on cherche à connaître la hauteur du relèvement, il ne sera pas nécessaire de les tracer. Celles qui existent sur la figure guideront suffisamment pour déterminer à vue d'œil la position des points, et la solution graphique sera ainsi très-expéditive.

44. *Lits irréguliers. Propriété des talus à 1/2 sur 1.*

S'il s'agit d'un lit de rivière irrégulier ou n'offrant pas une pente de fond, une largeur au plafond et des talus constants, et si l'on n'a besoin que d'un à peu près, les tables et les tracés ci-dessus dispenseront toujours de recourir aux longs calculs (art. 28) de la méthode d'intégration de proche en proche (qui ne donne elle-même que des à-peu-près) en partageant ce lit de rivière en plusieurs parties dont chacune puisse être assimilée, par aperçu, à un canal régulier à section rectangle ou trapèze. On pourra même, comme dit M. Dupuit (*), en faisant deux assimilations pour chaque portion, obtenir des limites entre lesquelles le résultat cherché sera certainement compris.

S'il y a, comme il arrive souvent, des parties où le talus est abrupt d'un côté et adouci de l'autre, on pourra approximativement supposer des deux côtés un talus moyen.

On abrégera les recherches si l'on peut assimiler les portions de rivière *à des canaux dont les talus soient de* 1 *de base pour* 2 *de hauteur*, car il résulte de la comparaison des courbes des remous (*fig*, 7) relatives à $t=0$, à $t=1$ et à $t=2$, ou des interpolations paraboliques que l'on peut faire entre les chiffres relatifs à ces trois grandeurs du talus, que si l'on a $t=1/2$, l'influence de la grandeur de r sera à peu près nulle, d'où il suit qu'une seule courbe, celle relative à $r=0$ et qui est la même, quel que soit le talus, servira pour

(*) Études, etc., appendice, p. 252.

toutes les valeurs de r, et l'on n'aura pas besoin de s'occuper de ce rapport de la profondeur à la largeur moyenne primitive de l'eau.

45. *Comparaison aux expériences.*

Il est évident que nos tables et nos courbes donneront, pour des canaux prismatiques rectangles ou trapèzes, les mêmes remous que les méthodes de calcul de proche en proche de MM. Belanger et Vauthier qui ne consistent aussi qu'en une intégration numérique de l'équation différentielle (43) du mouvement permanent des eaux, établie en supposant (art. 34) que le frottement des parois dépend toujours de la même manière de la vitesse moyenne, que celle-ci soit constante ou qu'elle soit graduellement et lentement variable.

M. d'Aubuisson a élevé des doutes sur la légitimité de cette hypothèse, en citant un nivellement du Weser en amont du double barrage à pertuis de Hameln, comme donnant des hauteurs de remous plus considérables que celles qui résulteraient de l'équation (43) du mouvement permanent (*).

Mais il est facile de voir qu'on ne peut en rien inférer. Il est bien vrai qu'en appliquant nos tables de remous dans la supposition, faite par M. d'Au-

(*) Observations faites en Allemagne sur le remous. Cet extrait de l'*hydrotechnie* de Funk (Versuch einer Darstellung der Lehren der Hydrotechnik, 1820) qui reproduit des résultats d'expériences publiées dès 1809 (Beiträge zur allgemeinen Wasser-Baukunst, von Funk) a été inséré aux Annales des ponts et chaussées, 1er semestre 1837, p. 78. M. d'Aubuisson en fait également mention dans son Traité d'hydraulique, 2e éd., p. 192.

buisson, que le courant a une section rectangulaire constante de 108 mètres de largeur et un fond en pente de 0,0004525, avec la profondeur de régime uniforme $0^m,752$ calculée d'après cette pente et le débit de $75^{mc},09$ par seconde, on trouve des rehaussements qui, à des distances du barrage de

617^m; 1334; 2398; 3242; 3837; 4660; 5621; 6084;

sont moins forts de

1^c; 4; 6; 12; 11; 17; 7; 2^{cent}.

que ceux du nivellement opéré.

Mais il n'y a pas de raison suffisante de prendre ainsi un fond fictif parallèle à la ligne de pente des eaux supposée uniforme depuis le point à 6084 mètres en amont du barrage jusqu'à un autre point pris en aval. Si en effet l'on jette les yeux sur le profil du fond rapporté à la *fig.* 1 de la *Pl. CXXV* du recueil où a paru le mémoire de M. d'Aubuisson, il semble plutôt que, pour remplacer approximativement sa pente fort irrégulière par une pente uniforme, il convient d'adopter une ligne aboutissant au fond pris au point n° 11, à 617 mètres en amont du barrage en partant du fond pris soit au n° 4 à 6084 mètres, soit au n° 5 à 5621 mètres, ce qui donne respectivement des pentes i de 0,0003402 et de 0,0003637, et des hauteurs de régime uniforme (calculées) de $0^m,838$ et $0^m,819$. Nos tables donnent alors, en partant du point à 617 mètres et non du barrage lui-même, vu qu'entre ces deux points il y a une dépression du fond considérable.

A des distances du barrage de

617m; 1334; 2398; 3242; 3837; 4660; 5621; 6084

des rehaussements moins forts de

0c; 2; 2; 6; 6; 10; 5; 1cent.;

ou de

0c; 0; 0; 4; 5; 7; $2\frac{1}{2}$ centimètres

que ceux résultant du nivellement.

Ainsi réduites, ces différences ne suffisent plus pour faire rejeter une méthode, surtout si l'on considère, dans le cas particulier où l'on se trouve :

1° Qu'il y avait probablement une erreur de nivellement au point 4660 (n° 6) où les différences sont les plus fortes, ou bien qu'il se trouvait en cet endroit quelque forte saillie du fond non indiquée : car ce point donne à la courbe d'eau une convexité qui ne peut guère exister sans cela ;

2° Que la largeur du courant n'était pas uniformément de 108 mètres, comme le supposent les calculs ci-dessus, car elle variait de 71 à 132 mètres, c'est-à-dire dans une proportion où la substitution d'une moyenne ne saurait donner un résultat sur lequel on puisse compter.

On ne peut rien tirer non plus pour la question qui nous occupe, ni des trois profils de la Werra, rapportés à la même planche du mémoire de M. d'Aubuisson, ni des nivellements de la rivière d'Yonne en amont du barrage d'Epineau qui ont été donnés aussi aux Annales des ponts et chaussées (*).

(*) 1839, 1er semestre, p. 272 à 280. On n'y trouve en effet ni les côtés de fond, ni les largeurs, ni les débits, et

46. *Facilité de modifier au besoin les résultats en se servant des mêmes courbes.*

Mais je suppose qu'il soit reconnu que l'équation du mouvement permanent de l'art. 34 donne toujours des remous au-dessous de la réalité, ou que, dans la crainte qu'il n'en soit ainsi, les ingénieurs veuillent prendre constamment des nombres un peu supérieurs : *nos tables ou nos courbes pourront toujours servir.*

En effet, l'infériorité des relèvements donnés par l'équation (43) du mouvement permanent ne peut être imputée au choix fait, chapitre 2 ci-dessus, des grandeurs numériques du coefficient c et de l'exposant m de la formule cU^m du frottement des parois, car *le coefficient* c *n'entre pas dans les transformées* (44) et (46) de cette équation, et quant au coefficient m, il est facile de s'assurer qu'en remplaçant la valeur adoptée $\frac{21}{11}$ par celle $\frac{15}{8} = 1,875$ qui est, comme nous avons vu, à peu près la plus petite valeur qu'on puisse lui donner d'après les expériences, on n'aurait que des relèvements excessivement peu supérieurs à ceux que nous a donnés $m = \frac{21}{11}$.

On ne peut guère attribuer cet excès (s'il existe) des relèvements réels sur les relèvements

---

il est impossible d'y suppléer par des documents puisés à la page 75 et à la planche d'un autre beau mémoire du même ingénieur, M. Chanoine, publié aux Annales au commencement de 1841.

ainsi calculés qu'à ce que les vitesses se distribueraient, aux divers points de chaque section transversale, d'une autre manière que dans le mouvement uniforme, en sorte que dans le courant à vitesse décroissante produit par le barrage, il y ait moins de différence entre la vitesse moyenne et les vitesses aux parois qui déterminent les frottements, que dans le courant primitif pour même vitesse moyenne.

S'il en était ainsi, le frottement dans l'état nouveau pourrait être représenté approximativement, u étant la vitesse moyenne dans une section où l'eau est relevée de y, par une expression

$$\left(1+6\frac{y}{H}\right)cu^m;$$

6 étant un coefficient numérique qui, s'il avait une valeur égale à 0,1, par exemple, donnerait $1,1cu^m$ pour $y=H$, et $1,3cu^m$ pour $y=3H$, en sorte que le frottement croîtrait non-seulement avec la vitesse, mais aussi avec le relèvement et serait *sensiblement* cu^m dans les parties où, le relèvement y étant peu considérable, le courant est presque à l'état d'uniformité.

Qu'en résulterait-il? que le second terme des dénominateurs des expressions sous le signe $\int$ de l'équation (46) se trouverait simplement multiplié par un nouveau facteur $1+0,1\frac{y}{H}$, en sorte que dans le cas d'un canal très-large ($\kappa=0$, $\kappa'=0$) ce terme, au lieu d'être

$$\left(1+\frac{y}{H}\right)^{-m-1}, \quad \text{serait} \quad \left(1+\frac{y}{H}\right)^{-m-1}\left(1+0,1\frac{y}{H}\right),$$

ou précisément le même que pour un canal rectangulaire dans lequel on aurait r' ou $\frac{2r}{1+2r}=0,1$, d'où $r=\frac{1}{18}$, *ce qui produirait, au lieu de la courbe de remous relative au cas du canal très-large* r = 0, *une courbe un peu plus haute, tracée au tiers de l'intervalle qui sépare celle-ci de la courbe relative à* t = 0, r = 1/6 *sur la* fig. 7.

On peut approximativement étendre cette conclusion aux autres canaux rectangulaires ou trapèzes pour lesquels nous avons calculé des tables et tracé des courbes. Il suffirait donc, pour tenir compte à peu près de ce que le frottement serait, ainsi, supposé augmenté dans le rapport de 1 à $1+0,1\frac{y}{H}$ par l'effet de la non-uniformité du mouvement, *de rehausser toutes ces courbes du tiers de l'intervalle que l'on voit entre celle* t = 0, r = 1/6; *et celle* r = 0.

Moyennant cette sorte de transport, on voit que les courbes tracées pourraient toujours servir à peu près, comme nous venons de dire, si la nécessité d'une altération des résultats du calcul basé sur l'équation du mouvement permanent venait à être mieux démontrée qu'elle ne me paraît l'être par le nivellement du Weser.

47. Observations à recueillir. Courbes expérimentales à construire. Conclusion.

Il est désirable que les ingénieurs qui seront à même d'observer des remous de barrages et de

mesurer leur hauteur en divers points par un nivellement exact recueillent tous les documents nécessaires pour avoir les valeurs de H et de i, ainsi que celles de r, de t et de $\frac{U^2}{gH}$ relatives à chaque cas, afin, en en rapportant des profils comme ceux de la *fig.* 7 aux mêmes échelles de $\frac{0,10}{H}$ et $\frac{0,10i}{H}$ pour 1, d'en faire la comparaison avec les courbes de cette figure ou avec les courbes intercalées répondant aux mêmes grandeurs de t, r et $\frac{\alpha U^2}{gH}$.

Comme le fond des cours d'eau est toujours plus ou moins irrégulier, il conviendra d'essayer plusieurs manières de prendre le fond en pente uniforme i qu'on lui substituera, pente dont on déduira ordinairement H par la formule $\frac{\omega}{\chi} i = c \left(\frac{Q}{\omega}\right)^m$ ou par la table équivalente de l'article 14 au moyen du débit Q préalablement jaugé.

Ce travail de comparaison rationnelle des résultats de l'observation aux résultats de l'intégration numérique de l'équation du mouvement permanent sera bien plus utile, à notre avis, que de nouvelles recherches d'équations propres à représenter empiriquement en y, y_0 et $s - s_0$ ou s, la courbe du remous des barrages. Tout le monde regardera comme prouvé, on le pense (et cela quelque opinion que l'on ait sur les petites modifications dont serait susceptible l'équation (46) du mouvement des eaux) que cette courbe indéfinie à deux asymptotes est constamment la même pour un même cours d'eau prismatique débitant

une quantité d'eau déterminée, et que les hauteurs plus ou moins grandes des barrages n'ont pour effet que d'en retrancher une portion plus ou moins grande vers l'aval; mais que cette courbe doit varier avec les éléments $\frac{\alpha U^2}{gH}$, $r = \frac{H}{l + Hi}$ et i de chaque cours d'eau. D'où il suit que toute équation en y, y_0 et s qui représente, sur un cours d'eau, un remous produit par un barrage d'une certaine hauteur est, par cela seul, inhabile à représenter, sur le même cours d'eau, un remous produit par un barrage d'une hauteur y_0 différente, et que toute équation où n'entrent pas les trois rapports ou éléments dont nous venons de parler ne peut être applicable qu'à des valeurs particulières de ces rapports, et ne pourrait servir pour d'autres valeurs.

C'est donc à des tables comme celles dont M. Dupuit a donné le premier spécimen, et où le point initial du remous vers l'aval peut être placé où l'on veut, ou bien à des courbes comme celles de l'art. 42 dont on peut prendre à volonté une portion variable, et non à des équations comme celles proposées par divers ingénieurs, qu'il faut demander les solutions expéditives du problème important qui nous occupe.

Il est bien entendu au reste que dans les cours d'eau où les largeurs, les profondeurs et les pentes de fond sont très-variables d'un point à l'autre, il faut recourir aux solutions lentes, mais assortissables à tous les cas, qui sont déduites de l'application directe de l'équation générale du mouvement permanent, à la détermination de l'écoulement à travers une série de sections connues au moyen

de profils en travers suffisamment rapprochés (art. 33). Et encore cette méthode ne suffit-elle plus lorsque la section et les pentes varient rapidement et lorsque le lit offre beaucoup de sinuosités. Alors les courbures horizontales et verticales des *filets* développent des forces centrifuges qui *doivent*, ainsi que la distribution variable des vitesses, influer sensiblement sur les résultats, et il devient nécessaire de rendre le calcul encore plus composé. Ce sera l'objet d'un autre mémoire, où l'on donnera aussi des tables pour le cas de l'abaissement des eaux au-dessous du niveau du régime uniforme ainsi que pour le cas d'une contre-pente au fond, et où, après avoir tiré le parti qu'on pourra des connaissances actuelles, on proposera, ainsi qu'on l'a dit à l'art. 14 ci-dessus, des *recherches expérimentales spéciales dans une direction* propre à fournir des bases plus sûres à un pareil calcul.

Ce qui précède suffira tout au moins, on le pense, pour montrer l'avantage qu'on peut tirer de la *formule* à second membre monôme et à exposant fractionnaire pour résoudre expéditivement le plus grand nombre des problèmes sur les eaux courantes, sans sacrifier l'exactitude en ce qui regarde les canaux (art. 1, 2, 14) et en l'obtenant pour les tuyaux, ce qui était impossible avec la formule à second membre binôme (art. 15, 20).

Suivent les tables (annoncées au n° 30) des deux facteurs de l'expression (40) $D = \frac{0{,}2396687}{J^{7/31}} . Q^{12/31}$ du diamètre du tuyau débitant le volume Q sous la pente J.

Valeurs du premier facteur de l'expression

$$D = \left[\frac{4c\left(\frac{4}{\pi}\right)^m}{J}\right]^{\frac{1}{2m+1}} . Q^{\frac{m}{2m+1}}, \quad D = \frac{0,2300687}{J^{7/31}} . Q^{\frac{12}{31}}$$

du diamètre du tuyau capable du débit Q *mètres cubes par seconde sous la* pente fictive J *par mètre courant.*

Pente J.	1er facteur.	Différences.	Pente J.	1er facteur.	Différences.	Observation.
0,000 010	3,2258	686	0,000 10	1,9179	408	Pour une valeur de J, qui serait 10 fois plus petite qu'une de celles de la table, on multiplierait la valeur correspondante du facteur par $10^{7/31}$ = 1,681924.
11	3,1572	615	11	1,8771	365	
12	3,0957	554	12	1,8406	330	
13	3,0403	505	13	1,8076	300	
14	2,9898	462	14	1,7776	275	
15	2,9436	426	15	1,7501	253	
16	2,9010	394	16	1,7248	234	
17	2,8616	367	17	1,7014	218	
18	2,8249	343	18	1,6796	204	
19	2,7906	321	19	1,6592	191	
0,000 020	2,7585	303	0,000 20	1,6401	180	
21	2,7282	285	21	1,6221	169	
22	2,6997	269	22	1,6052	161	
23	2,6728	256	23	1,5891	152	
24	2,6472	243	24	1,5739	144	
25	2,6229	231	25	1,5595	138	
26	2,5998	221	26	1,5457	131	
27	2,5777	210	27	1,5326	125	
28	2,5567	202	28	1,5201	120	
29	2,5365	194	29	1,5081	115	
0,000 030	2,5171	185	0,000 30	1,4966	111	
31	2,4986	179	31	1,4855	106	
32	2,4807	172	32	1,4749	102	
33	2,4635	165	33	1,4647	98	
34	2,4470	160	34	1,4549	95	
35	2,4310	154	35	1,4454	92	
36	2,5156	149	36	1,4362	88	
37	2,4007	144	37	1,4274	86	
38	2,3863	140	38	1,4188	83	
39	2,3723	135	39	1,4105	80	
0,000 040	2,3588	131	0,000 40	1,4025	78	
41	2,3457	127	41	1,3947	76	
42	2,3330	124	42	1,3871	74	
43	2,3206	120	43	1,3797	71	
44	2,3086	117	44	1,3726	70	
45	2,2969	114	45	1,3656	67	
46	2,2855	110	46	1,3589	66	
47	2,2745	108	47	1,3523	64	
48	2,2637	105	48	1,3459	63	
49	2,2532	103	49	1,3396	61	
0,000 050	2,2429	477	0,000 50	1,3335	284	
55	2,1952	428	55	1,3051	253	
60	2,1524	385	60	1,2798	230	
65	2,1139	351	65	1,2568	208	
70	2,0788	321	70	1,2360	191	
75	2,0467	296	75	1,2169	176	
80	2,0171	275	80	1,1093	163	
85	1,9896	255	85	1,1830	152	
90	1,9641	238	90	1,1678	142	
95	1,9403	224	95	1,1536	133	
0,000 100	1,9179		0,001 00	1,1403		

Suite des valeurs du 1er facteur $0,2398687\ J^{-\frac{7}{31}}$.

Pente J.	1er facteur.	Différences.	Pente J.	1er facteur.	Différences.	Observation.
0,001 0	1,1403	243	0,020	0,5798	64	Pour une valeur de J 10 fois plus grande qu'une de celles de la table, on multiplierait la valeur correspondante du facteur par $\left(\frac{1}{10}\right)^{7/31} = 0,59457$.
1 1	1,1160	217	21	0,5734	60	
1 2	1,0943	196	22	0,5674	56	
1 3	1,0747	178	23	0,5618	54	
1 4	1,0569	163	24	0,5564	51	
1 5	1,0406	151	25	0,5513	49	
1 6	1,0255	139	26	0,5464	46	
1 7	1,0116	130	27	0,5418	45	
1 8	0,9986	121	28	0,5373	42	
1 9	0,9865	114	29	0,5331	41	
0,002 0	0,9751	107	0,030	0,5290	39	
2 1	0,9644	100	31	0,5251	37	
2 2	0,9544	96	32	0,5214	36	
2 3	0,9448	90	33	0,5178	35	
2 4	0,9358	86	34	0,5143	34	
2 5	0,9272	82	35	0,5109	32	
2 6	0,9190	78	36	0,5077	31	
2 7	0,9112	74	37	0,5046	31	
2 8	0,9038	72	38	0,5015	29	
2 9	0,8966	68	39	0,4986	28	
0,003 0	0,8898	66	0,040	0,4958	28	
3 1	0,8832	63	41	0,4930	27	
3 2	0,8769	60	42	0,4903	26	
3 3	0,8709	59	43	0,4877	25	
3 4	0,8650	56	44	0,4852	24	
3 5	0,8594	55	45	0,4828	24	
3 6	0,8539	53	46	0,4804	24	
3 7	0,8486	51	47	0,4780	22	
3 8	0,8435	49	48	0,4758	22	
3 9	0,8386	48	49	0,4736	22	
0,004 0	0,8338	46	0,050	0,4714	100	
4 1	0,8292	45	55	0,4614	90	
4 2	0,8247	44	60	0,4524	81	
4 3	0,8203	42	65	0,4443	74	
4 4	0,8161	41	70	0,4369	67	
4 5	0,8120	41	75	0,4302	63	
4 6	0,8079	39	80	0,4239	57	
4 7	0,8040	38	85	0,4182	54	
4 8	0,8002	37	90	0,4128	50	
4 9	0,7965	36	95	0,4078	47	
0,005 0	0,7929	169	0,100	0,4031	86	
5 5	0,7760	151	0,11	0,3945	77	
6 0	0,7609	136	0,12	0,3868	69	
6 5	0,7473	124	0,13	0,3799	63	
7 0	0,7349	114	0,14	0,3736	58	
7 5	0,7235	105	0,15	0,3678	53	
8 0	0,7130	97	0,16	0,3625	49	
8 5	0,7033	90	0,17	0,3576	46	
9 0	0,6943	84	0,18	0,3530	43	
9 5	0,6859	79	0,19	0,3487	40	
0,010 0	0,6780	144	0,20	0,3447	38	
0,011	0,6636	130	0,21	0,3409	35	
12	0,6506	116	0,22	0,3374	34	
13	0,6390	106	0,23	0,3340	32	
14	0,6284	97	0,24	0,3308	30	
15	0,6187	90	0,25	0,3278	29	
16	0,6097	83	0,26	0,3249	28	
17	0,6014	77	0,27	0,3221	26	
18	0,5937	72	0,28	0,3195	25	
19	0,5865	67	0,29	0,3170	25	
0,020	0,5798		0,30	0,3145		

Valeurs du 2e facteur $Q^{\frac{m}{2m+1}} = Q^{\frac{12}{31}}$.

(Multiplier par mille les valeurs du débit Q en mètres cubes pour avoir le débit en litres 1000Q.)

Débit Q en mètres cubes.	Facteur $Q^{\frac{12}{31}}$.	Différences.	Débit Q en mètres cubes.	Facteur $Q^{\frac{12}{31}}$.	Différences.	Observation
0,000 10	0,02829	106	0,001 0	0,0690	26	Pour une valeur de Q dix fois plus petite qu'une de celles de la table, on multiplierait la valeur correspondante du facteur $Q^{12/31}$ par $\left(\frac{1}{10}\right)^{12/31} = 0,4101130$.
11	0,02935	101	1 1	0,0716	24	
12	0,03036	95	1 2	0,0740	24	
13	0,03131	91	1 3	0,0764	22	
14	0,03222	87	1 4	0,0786	21	
15	0,03309	84	1 5	0,0807	20	
16	0,03393	81	1 6	0,0827	20	
17	0,03474	77	1 7	0,0847	19	
18	0,03551	75	1 8	0,0866	18	
19	0,03626	73	1 9	0,0884	18	
0,000 20	0,03699	71	0,002 0	0,0902	17	
21	0,03770	69	2 1	0,0919	17	
22	0,03839	66	2 2	0,0936	16	
23	0,03905	65	2 3	0,0952	16	
24	0,03970	63	2 4	0,0968	15	
25	0,04033	62	2 5	0,0983	15	
26	0,04095	60	2 6	0,0998	15	
27	0,04155	59	2 7	0,1013	15	
28	0,04214	58	2 8	0,1028	14	
29	0,04272	56	2 7	0,1042	13	
0,000 30	0,04328	55	0,003 0	0,1055	14	
31	0,04383	55	3 1	0,1069	13	
32	0,04438	53	3 2	0,1082	13	
33	0,04491	52	3 3	0,1095	13	
34	0,04543	51	3 4	0,1108	12	
35	0,04594	51	3 5	0,1120	13	
36	0,04645	49	3 6	0,1133	12	
37	0,04694	49	3 7	0,1145	11	
38	0,04743	48	3 8	0,1156	12	
39	0,04791	47	3 9	0,1168	12	
0,000 40	0,04838	46	0,004 0	0,1180	11	
41	0,04864	46	4 1	0,1191	11	
42	0,04930	45	4 2	0,1202	11	
43	0,04975	45	4 3	0,1213	11	
44	0,05020	44	4 4	0,1224	11	
45	0,05064	43	4 5	0,1235	10	
46	0,05107	43	4 6	0,1245	11	
47	0,05150	42	4 7	0,1256	10	
48	0,05192	41	4 8	0,1266	10	
49	0,05233	42	4 9	0,1276	10	
0,000 50	0,05275	198	0,005 0	0,1286	48	
55	0,05473	187	5 5	0,1334	46	
60	0,05660	178	6 0	0,1380	44	
65	0,05838	170	6 5	0,1424	41	
70	0,06008	163	7 0	0,1465	40	
75	0,06171	156	7 5	0,1505	38	
80	0,06327	150	8 0	0,1543	36	
85	0,06477	145	8 5	0,1579	36	
90	0,06622	140	9 0	0,1615	34	
95	0,06762	136	9 5	0,1649	33	
0,001 00	0,06898		0,010 0	0,1682		

Suite des valeurs du 2e facteur $Q^{\frac{12}{31}}$.

Débit Q en mètres cubes.	Facteur $Q^{\frac{12}{31}}$.	Différences.	Débit Q en mètres cubes.	Facteur $Q^{\frac{12}{31}}$.	Différences.	Observation.
0,010	0,1682	63	0,10	0,4101	154	Pour une valeur Q dix fois plus grande qu'une de celles de la table, on multiplierait la valeur correspondante du facteur $Q^{12/31}$ par $(10)^{12/31} = 2,438354$.
0,011	0,1745	60	0,11	0,4255	146	
0,012	0,1805	57	0,12	0,4401	139	
0,013	0,1862	54	0,13	0,4540	132	
0,014	0,1916	52	0,14	0,4672	126	
0,015	0,1968	50	0,15	0,4798	121	
0,016	0,2018	48	0,16	0,4919	117	
0,017	0,2066	46	0,17	0,5036	113	
0,018	0,2112	44	0,18	0,5149	109	
0,019	0,2156	43	0,19	0,5258	105	
0,020	0,2199	42	0,20	0,5363	103	
0,021	0,2241	41	0,21	0,5466	99	
0,022	0,2282	40	0,22	0,5565	96	
0,023	0,2322	38	0,23	0,5661	94	
0,024	0,2360	38	0,24	0,5755	92	
0,025	0,2398	37	0,25	0,5847	90	
0,026	0,2435	35	0,26	0,5937	87	
0,027	0,2470	35	0,27	0,6024	85	
0,028	0,2505	35	0,28	0,6109	84	
0,029	0,2540	33	0,29	0,6193	82	
0,030	0,2573	33	0,30	0,6275	80	
0,031	0,2606	32	0,31	0,6355	79	
0,032	0,2638	32	0,32	0,6434	77	
0,033	0,2670	31	0,33	0,6511	75	
0,034	0,2701	31	0,34	0,6586	75	
0,035	0,2732	29	0,35	0,6661	73	
0,036	0,2761	30	0,36	0,6734	71	
0,037	0,2791	29	0,37	0,6805	71	
0,038	0,2820	28	0,38	0,6876	69	
0,039	0,2848	28	0,39	0,6945	69	
0,040	0,2876	28	0,40	0,7014	67	
0,041	0,2904	27	0,41	0,7081	67	
0,042	0,2931	27	0,42	0,7148	65	
0,043	0,2958	27	0,43	0,7213	64	
0,044	0,2985	26	0,44	0,7277	64	
0,045	0,3011	25	0,45	0,7341	63	
0,046	0,3036	26	0,46	0,7404	62	
0,047	0,3062	25	0,47	0,7466	61	
0,048	0,3087	25	0,48	0,7527	60	
0,049	0,3112	24	0,49	0,7587	60	
0,050	0,3136	118	0,50	0,7647	287	
0,055	0,3254	111	0,55	0,7934	272	
0,060	0,3365	106	0,60	0,8206	258	
0,065	0,3471	101	0,65	0,8464	246	
0,070	0,3572	97	0,70	0,8710	236	
0,075	0,3669	93	0,75	0,8946	226	
0,080	0,3762	89	0,80	0,9172	218	
0,085	0,3851	86	0,85	0,9390	210	
0,090	0,3937	83	0,90	0,9600	203	
0,095	0,4020	81	0,95	0,9803	197	
0,100	0,4101		1,00	1,0000		

N. B. On n'appliquera pas ces deux tables aux systèmes des valeurs de J et de Q qui donneraient la vitesse moyenne de l'eau $U = \frac{Q}{1/4\,\pi D^2} = 1,27324\,\frac{Q}{D^2}$ plus petite que 0m,04 ou plus grande que 3.

RECHERCHES

Sur l'influence du soufre sur la nature des fontes.

Par M. JANOYER, ancien élève de l'École des mineurs de St-Étienne, Directeur des hauts-fourneaux à l'usine de l'Orme (Loire).

Je vais exposer dans ce mémoire les essais que j'ai tentés pour déterminer l'influence du soufre sur la nature des fontes.

Tous les ouvrages de métallurgie qui ont traité de l'action des corps simples non métalliques sur les fontes, signalent bien la tendance des minerais sulfureux à produire, dans leur traitement au haut-fourneau, des fontes blanches, mais aucun ne détermine le mode d'action du soufre dans le cas qui m'a conduit à entreprendre ces recherches. Il est généralement admis que le soufre rend la fonte trop fusible, et par conséquent peu disposée à se convertir en fonte grise.

Cette explication, qui a du vrai, n'est pas suffisante, attendu que l'on peut très-bien produire des fontes très-grises avec des minerais très-phosphoreux, et par suite très-fusibles. Les minerais de Villebois (Ain) et de Tremblois (Haute-Saône) en petites oolithes désagrégées, qui sont dans ce cas, ont donné d'assez bons résultats. Indépendamment de la grande fusibilité, il faut admettre une action chimique du soufre, une action décarburante sur le carbone des fontes.

Le lit de fusion des hauts-fourneaux de l'Orme, placés dans le bassin houiller de la Loire, est essentiellement composé de deux sortes de minerais :

Minerai peroxydé compacte de Privas (Ardèche).

Argile.	16,55
Peroxyde de fer.	70,05
Chaux.	5,88
Eau et matières volatiles. .	7,52
	100,00

Minerai carbonaté des houillères.

Argile.	73,15
Protoxyde de fer.	37,02
Sulfure de fer.	5,98
Chaux.	0,86
Magnésie.	0,55
Eau et matières volatiles. .	42,00
	99,56

Le premier est un minerai compacte d'une réductibilité moyenne et d'une fusibilité assez prononcée ; le second présente à la fois réductibilité et fusibilité très-faciles, mais il est très-sulfureux. Ils sont d'ailleurs tous les deux à gangue argileuse.

De ces deux minerais, celui des houillères (surtout grillé) présentait, à part la question du soufre, toutes les conditions essentielles pour une fonte grise à grains gros et ouverts, et pour la mettre à l'abri de la grande fusibilité des fontes sulfurées et la préserver de l'action du soufre et du silicium, qui en atténuent la ténacité, je traitai

ce minerai avec une forte proportion de castine, afin de faciliter la formation d'un sulfure de calcium et d'un silicate de chaux, et de favoriser ainsi le départ de ces deux corps si nuisibles à la fonte.

Le premier jour du roulement, le haut-fourneau donna une fonte très-grise, avec une allure chaude et très-régulière. Mais la nature du produit ne tarda pas à changer ; la fonte devint truitée, blanche fibreuse, et enfin blanche caverneuse grenue, bien que l'allure du haut-fourneau fût toujours bonne et régulière.

Je n'avais pas à craindre une réduction incomplète par la grande fusibilité des fers sulfurés (fusion avant réduction) ; car le laitier correspondant était blanc, pierreux, sans indice de protoxyde de fer. *Nulle* variation dans l'atmosphère, toujours même chaleur et même pression au vent injecté dans le haut-fourneau, aucun changement dans le combustible ; rien n'indiquait un changement pareil dans le produit.

J'attribuai alors le changement observé à un refroidissement de la partie inférieure du haut-fourneau, dû à la formation des laitiers excessivement basiques que je cherchais à produire.

Leur analyse a donné :

Silice.	34,50	
Alumine.	18,00	(sans traces de fer.)
Chaux et magnésie. .	47,00	
Soufre.	0,13	
	99,63	
Perte. . .	0,37	
	100,00	

Pour obtenir un laitier moins basique, moins

difficile à fondre, je diminuai progressivement la castine sans rien changer aux minerais.

L'allure resta constamment chaude et régulière, mais au lieu de s'améliorer, la fonte devint de plus en plus froide; au sortir du haut-fourneau, elle faisait entendre une forte décrépitation et se figeait promptement. Cassée, elle était grosse et parfois caverneuse. Elle présentait, en tous points, le caractère d'une fonte produite dans une allure froide, avec carburation incomplète; bien que les indices extérieurs de l'allure, laitier, flamme au gueulard, annonçassent l'inverse.

En diminuant la castine, sans faire varier les autres éléments du laitier, je rendais au creuset la chaleur que pouvait absorber la formation du laitier trop basique; d'un autre côté, j'isolais une plus grande quantité de soufre; le produit devenant de plus en plus mauvais, je dus dès ce moment attribuer au soufre seul la détérioration de la fonte.

M. Gruner, ingénieur en chef des mines, à qui je fis part de mes observations, pensa comme moi que le blanchiment des fontes était dû à la soustraction d'une partie du carbone de la fonte sous forme de sulfure de carbone, et au calorique rendu latent par la volatilisation de ce corps.

Je fis alors plusieurs essais synthétiques pour arriver à constater ce mode d'action du soufre sur le carbone des fontes, essais qui m'avaient, pour la plupart, été indiqués par M. Gruner.

3 grammes d'une belle fonte grise à gros grains furent traités par l'eau régale, et la dissolution reprise par le chlorure de baryum. J'obtins $0^{gr.},02$ sulfate de baryte, soit en soufre $0^{gr.},0027$; soit encore 0,09 p. 100 du poids de la fonte.

Connaissant exactement la teneur en soufre, je refondis :

1° 32 grammes de cette même fonte avec 0,64 de pyrite (bisulfure de fer) parfaitement cristallisée, sans gangue, soit en pyrite 2 p. 100 du poids de la fonte ;

2° 40 grammes avec 0,40 pyrite, soit 1 p. 100 du poids de la fonte ; pour voir si cette fonte, après blanchiment, contiendrait plus de soufre et dans quelle proportion il augmentait ou diminuait à mesure qu'on augmentait ou diminuait les pyrites.

Lorsque la matière fut fondue, très-liquide, je découvris le creuset et j'aperçus des globules brillants, d'un blanc plus intense que le métal fondu, qui se dégageaient entre les parois du creuset et le culot métallique, et disparaissaient au contact de l'air en produisant en ce point un abaissement de température très-notable.

Lorsque le dégagement eut cessé, je laissai refroidir très-lentement la fonte dans le creuset qui avait servi à la fusion, pour être sûr que le blanchiment ne provenait pas d'un refroidissement trop brusque.

Malgré cette précaution, la fonte, qui jusque-là était restée tranquille, à surface unie, s'entr'ouvrit vivement en tous sens, fit entendre une forte décrépitation, se couvrit d'une croûte rugueuse, qui se sépara en partie du métal et présenta en tous points les caractères d'une fonte grenue, produite par une carburation incomplète dans une mauvaise allure. Cassées, ces fontes étaient blanches, et d'autant plus blanches que la proportion de pyrites était plus grande : elles étaient excessi-

vement dures; une lime en acier fondu ne pouvait les entamer

J'essayai ces deux fontes blanchies; 3 grammes de chacune d'elles furent traités par l'eau régale et la dissolution reprise par le chlorure de baryum.

La première donna en sulfate de baryte $0^g,19$, soit en soufre $0^g,026$, soit encore 0,87 p. 100 du poids de la fonte.

La deuxième donna : sulfate de baryte $0^g,10$, soit en soufre $0^g,0133$, soit encore 0,46 p. 100 du poids de la fonte essayée.

On voit d'après ces deux essais que la fonte contient, après cette fusion, une plus forte proportion de soufre, et que cette proportion croît presque dans le même rapport que celle des pyrites ajoutées, puisque dans le premier cas nous trouvons une quantité de soufre presque double de celle donnée dans la deuxième série, qui contenait une quantité de pyrites exactement moitié moindre. Je devais, en quelque sorte, m'y attendre, car les pyrites (bisulfures de fer) perdent, par la chaleur, la moitié de leur soufre pour se transformer en protosulfures plus stables, et l'affinité du soufre pour le fer devait nécessairement amener la combinaison du soufre mis en liberté avec la fonte.

La composition des pyrites étant :

Soufre. . .	54,26
Fer. . . .	45,74
	100,00

L'essai par voie sèche fait avec le mélange de 2 p. 100 de pyrites contenait, avant la fusion, 1,06 p. 100 de soufre; si la moitié, se dégageant

du bisulfure par la chaleur, s'était portée en entier sur le fer de la fonte, j'aurais dû trouver la même quantité de soufre, tandis que l'analyse ne m'a donné que 0.87 p. 100, d'où il faut encore retrancher 0,09 p. 100 que contenait la fonte première; reste alors 0,78 p. 100, quantité réelle de soufre qu'a prise la fonte dans cette fusion en présence des pyrites : il s'est donc perdu dans cette même opération 0,28 p. 100 de soufre.

De même, l'essai fait avec le mélange de 1 p. 100 de pyrites, qui contenait avant la fusion 0,53 p. 100 de soufre, n'a donné que 0,46 p. 100 ; d'où il faut retrancher, comme dans le cas précédent, 0,09 p. 100 de la fonte première; reste 0,37 p. 100 : il s'est donc perdu pendant cette fusion 0,16 p. 100 de soufre.

	Essai fait avec 2 0/0 de pyrites.	Essai fait avec 1 0/0 de pyrites.
Soufre donné par l'analyse.	0,87 0/0	0,46 0/0
Soufre de fonte première indépendant des pyrites.	0,09 0/0	0,09 0/0
Soufre *pris* par la fonte en fusion en présence des pyrites.	0,78 0/0	0,37 0/0
Soufre apporté par les pyrites dans le mélange. . .	1,06 0/0	0,53 0/0
Perte de soufre par la fusion avec les pyrites. . . .	0,28 0/0	0.16 0/0

On voit, par les résultats de ces deux essais mis en présence : 1° que les fontes sont d'autant plus sulfureuses qu'elles sont refondues en présence d'une plus grande quantité de pyrites.

2° Qu'il y a déperdition de soufre après fusion complète, et que cette déperdition, à un instant donné, est d'autant plus grande que la proportion des pyrites est plus considérable.

Ces faits établis, il est bien probable, sinon cer-

tain, que cette portion du soufre se perdait en formant avec le carbone des fontes du *sulfure de carbone* volatil qui avait produit les globules brillants observés dans les essais.

Pour arriver à une preuve certaine, je répétai comparativement des essais déjà faits par M. Berthier, sur un mélange de fer doux parfaitement décapé en limaille, et de pyrites.

M. Berthier a en effet constaté qu'en fondant du fer doux décapé avec des pyrites (atome par atome), il se forme toujours du protosulfure de fer sans *aucune déperdition de soufre*. Cela étant, il était prouvé que le soufre perdu dans les essais précédents se combinait au carbone des fontes en formant du sulfure de carbone, qui agissait en *décarburant* et en produisant en même temps du calorique latent par sa volatilisation; car on sait qu'en se vaporisant ce liquide produit un abaissement de températnre capable de faire congeler le mercure.

Je fis une première expérience en fondant dans un creuset nu, au feu de forge, 20 grammes de limaille de fer doux, bien décapée, avec $0^{g},40$, soit 2 p. 100 de pyrites.

Pour éviter une légère oxydation par l'air qui aurait pu arriver dans le creuset, je le couvris d'un morceau de coke. Lorsque toute la masse fut arrivée au blanc soudant, je découvris le creuset pour voir si dans ce cas, comme dans celui de fusion de la fonte avec 3 p. 100 de pyrite, il y avait dégagement de globules brillants. Je n'aperçus aucun dégagement; la masse resta tranquille; refroidie, elle présenta la forme d'un culot assez compacte, très-bien soudé; cassée, on voyait çà et là du sulfure de fer jaune-brun assez foncé, qui

n'était sans doute que du protosulfure disséminé dans la masse.

Ce premier essai fut déjà pour moi une preuve de la formation du sulfure de carbone par la fusion d'une fonte grise en présence de la pyrite, puisque, dans ce cas seulement, j'ai reconnu le dégagement de globules brillants.

Je fis encore un nouvel essai, dans lequel je dosai le soufre.

2g,31 de limaille de fil de fer bien décapé furent fondus avec 0gr,046, soit 2 p. 100 pyrites. Après une heure de température très-élevée, je retirai le creuset, et le laissai refroidir lentement, pour me trouver dans les mêmes circonstances que j'avais observées dans le cas de fusion de la fonte en présence de la pyrite.

J'obtins un petit culot bien fondu, compacte, très-facile à entamer à la lime.

1g,05 furent traités par l'eau régale; l'attaque fut lente, mais bien complète, sans résidu. La dissolution *fut* reprise par le chlorure de barium, *et j'obtins* un précipité de 0g,08 de sulfate de baryte, soit en soufre 0,011, ou bien encore 1,04 p. 100.

D'après la composition des pyrites, sur 2g,046 de pyrite mêlée au fer, il devait se trouver dans le mélange avant la fusion 0g,0249 soufre, soit 1,05 p. 100.

L'analyse m'ayant donné 1,04 p. 100, c'est-à-dire le même résultat à 1/100 p. 100 près, j'en conclus, comme l'avait au reste constaté M. Berthier, que dans la fusion du fer doux décapé avec de la pyrite, il n'y a jamais déperdition de soufre.

Je peux dès lors conclure, comme je l'ai dit en commençant, qu'il ne faut pas attribuer à la trop grande fusibilité seule, la tendance des minerais sulfureux à produire, dans leur traitement, des fontes blanches. La principale cause est la formation d'un sulfure de carbone, qui agit, en décarburant en partie les fontes, et en amenant un abaissement de température considérable par le calorique rendu latent par la volatilisation de ce produit.

J'ai dit plus haut qu'en fondant de la fonte grise avec des proportions variables de pyrites, elle se détériorait, qu'elle était d'autant plus sulfureuse que la proportion de pyrite était plus considérable; j'ai apporté des résultats d'essais à l'appui. Il restait à savoir si, dans le cas où l'on agirait sur des minerais et non sur des fontes, cas du traitement au haut-fourneau, le même fait se reproduirait.

J'ai réduit alors 20 grammes de minerai de Privas avec 2 grammes de castine; le tout mélangé à $0^{gr},40$ pyrite, soit 2 p. 100, dans un creuset brasqué. La fonte a été refroidie très-lentement dans le creuset qui avait servi à l'essai; malgré cette précaution, le culot cassé était entièrement blanc et laissait apercevoir dans la partie en contact avec le laitier des plaques jaunes de sulfure de fer; dans toute son épaisseur il présentait de grandes cavités tapissées de cristallisations filamenteuses de sulfure de fer placées à angle droit. Dans les parties massives, la fonte avait un aspect grenu. En somme elle était très-mauvaise, très-cassante, ne fléchissant nullement sous le marteau.

20 autres grammes du même morceau de mi-

nerai de Privas, réduits dans un creuset brasqué avec 2 grammes de castine et $0^{gr.},20$, soit 1 p. 100 de pyrite, ont donné également une fonte très-blanche, bien que toutes les précautions pour un refroidissement lent aient été observées. Le culot présentait encore, comme dans le cas précédent, de grandes cavités tapissées de cristallisations filamenteuses; la fonte était mauvaise, cassante, ne fléchissant pas sous le marteau. Elle ne différait de la précédente que par les plaques jaunes de sulfure de fer qu'on apercevait dans le premier essai à la jonction de la fonte et du laitier, et qui ne se trouvaient pas dans ce dernier cas.

Pour être sûr que dans ce cas encore, c'est-à-dire dans le traitement au haut-fourneau, les pyrites ou plutôt le soufre des pyrites était un obstacle à la formation d'une fonte grise, je traitai 20 grammes du même morceau qui avait servi aux essais avec la même quantité de castine sans addition de pyrites. La fonte obtenue était grise, sans cependant être graphiteuse. La fonte, brune, fléchissait sous le marteau, était parfaitement compacte à l'intérieur et ne laissait pas apercevoir, comme dans les deux cas précédents, de cristallisations sulfureuses. J'ai cependant pu distinguer à la loupe quelques petits filaments de cristallisation sulfureuse au point de contact du laitier et de la fonte; à l'analyse je n'ai obtenu que des traces de sulfate de baryte si faibles que je les ai négligées.

J'ai repris les deux essais faits en réduisant du minerai de Privas en présence de la pyrite pour en doser le soufre et voir si dans ce cas encore, en agissant sur des minerais et non sur des fontes, ces dernières seraient d'autant plus sulfureuses

qu'elles seraient produites en présence d'une plus grande quantité de pyrites : ce qui deviendrait dès lors uue règle générale applicable au traitement des minerais pyriteux.

L'essai fait avec un mélange de 2 p. 100 de pyrite a donné à l'analyse sur 1 gramme 0,^{gr}07 de sulfate de baryte soit 0^{gr},0096 de soufre, soit encore 0, 96 p. 100. Or le mélange contenait avant la fusion 1,06 p. 100 soufre. L'analyse n'en donnant que 0,96 p. 100, nous trouvons une perte de 0,10 p. 100.

De même l'essai fait avec 1 p. 100 de pyrite a donné à l'analyse sur 1 gramme, 0^{gr}03 de sulfate de baryte, soit 0,0041 de soufre, soit encore 0,41 p. 100. L'essai après mélange de pyrites contenait 0,53 p. 100, nous trouvons encore une perte de 0,12 p. 100.

On voit d'après ces essais faits sur des minerais qu'il y a perte de soufre, comme dans le cas de fusion d'une fonte grise en présence de pyrites, et que les fontes sont d'autant plus sulfureuses qu'elles sont produites avec des minerais plus pyriteux ; la proportion de castine restant d'ailleurs invariable dans le lit de fusion.

Dans le traitement des minerais pyriteux au haut-fourneau, pour combattre l'action nuisible du soufre sur la fonte, j'augmentai progressivement la castine sans rien changer aux minerais. Car, d'après M. Berthier (Essais par la voie sèche, t. II, p. 193), la chaux décompose une quantité notable de sulfure de fer sous l'influence d'une haute température en présence du charbon. Pour ne pas compromettre la fusibilité du laitier, je cherchai d'abord quelle était la quantité maximum de chaux qu'il pouvait contenir. En fondant

de toutes pièces de l'argile et de la castine, l'expérience me conduisit à la composition suivante, qui est une limite qu'on ne peut dépasser :

Silice.	36,00
Alumine.	10,00
Chaux.	54,00
	100,00

Cet essai préalable fait, en ajoutant peu à peu de la castine au lit de fusion du haut-fourneau, j'arrivai à un laitier blanc pierreux, sans indice d'oxide de fer, se rapprochant beaucoup de la composition ci-dessus; on y apercevait çà et là de la chaux non combinée mécaniquement entraînée. L'allure du haut-fourneau a constamment été bonne et régulière, le creuset sans aucun embarras, le combustible très-bon; le vent chauffé à 400° restituait la chaleur que pouvait absorber cette énorme quantité de chaux.

Malgré cette quantité maximum de castine dans le lit de fusion, je n'ai pu combattre cette action du soufre, et pour revenir à une bonne fonte *grise*, il a fallu retrancher une forte quantité de minerais houillers très-pyriteux.

Je cherchai alors ce que devenait le soufre en réduisant dans des creusets brasqués :

1° 10 grammes de minerai Privas avec 5 grammes de laitier de haut-fourneau, 5 grammes de castine et 0,20 de pyrite de fer.

2° 10 grammes de minerai Privas, 5 grammes de laitier, 10 grammes de castine et 0,20 de pyrite de fer.

En d'autres termes, la castine variant seule dans le lit de fusion de minerais pyriteux, je cherchai ce que devenait le soufre.

Les deux essais réussirent parfaitement ; le premier donna un laitier gris clair, vitreux bien fondu. Cependant dans toute la portion qui recouvrait le culot de fonte on apercevait une matière assez dure jaune-blanche, compacte, à cassure unie, disséminée dans le laitier. Le culot de fonte était entièrement blanc, à cassure très-irrégulière, tout à fait caverneux et présentant quelques petits filaments de cristallisation sulfureuse. Trois petites grenailles de fonte non agglomérées au culot se trouvaient superposées au laitier et avaient échappé à cette action décarburante du soufre, car à la loupe et même à l'œil on y apercevait de grosses plaques de graphite et la fonte était tout à fait noire. Le mélange du minerai de la castine et de la pyrite n'ayant pas été complet, une petite quantité de minerai s'était réduite à l'abri de l'action du soufre qui au contraire avait fortement agi sur la fonte du culot.

A l'analyse cette fonte blanche a donné sur 1 gramme $0^{gr}\cdot009$ sulfate barytique, soit $0^{gr}\cdot001242$ soufre, soit encore 0,1242 p. 100.

Le deuxième essai contenant une quantité double de castine, quantité maximum pour la fusibilité du laitier, a donné un laitier gris-blanc rempli assez uniformément de cette matière jaune-blanche que l'essai précédent avait donnée disséminée çà et là dans la scorie. Il avait un aspect jaune luisant assez fortement prononcé dans certains points. Exposé à l'air humide, il est en partie tombé en poussière et a fourni une énorme quantité de chaux vive. Malgré l'affinité puissante que la chaux en aussi grande quantité a dû présenter au soufre, la fonte était entièrement blanche, à aspect grenu caverneux, mais ne présentant pas

de cristallisations sulfureuses. Sous le marteau elle s'aplatissait beaucoup mieux que celle de l'essai précédent. Il a même été assez difficile de la pulvériser; dans les mortiers elle s'aplatissait plutôt qu'elle ne se pulvérisait. Quoique blanche on pouvait facilement remarquer une amélioration dans la ténacité.

A l'analyse cette fonte blanchie n'a donné sur 1 gramme que $0^{gr}\cdot005$ sulfate de baryte, soit en soufre $0^{gr}\cdot00069$, soit encore 0,069 p. 100, quantité qui est presque moitié moindre que la quantité de soufre trouvée dans l'essai précédent.

On voit d'après ces deux essais concluants que la quantité de soufre dans une fonte diminue à mesure que la quantité de chaux que contient le laitier augmente, mais qu'il est impossible, dans *certains* cas, de s'en débarrasser totalement sans arriver à l'infusibilité du laitier.

J'ai dit en parlant de l'essai fait en fondant 10 grammes de minerai Privas, 5 grammes de laitier, 5 grammes de castine et 0,20 pyrite, que le laitier *dans la* partie qui recouvrait le culot était entièrement jaune-blanc compacte, tandis que le reste de la scorie était vitreux et ne présentait rien de semblable.

L'analyse de cette portion prouve, vu la grande quantité de soufre constatée, qu'il y a du sulfure de calcium mélangé au laitier, et la place qu'elle affecte exclusivement au-dessus de la fonte blanchie prouve que le sulfure de calcium s'est formé par des émanations sulfureuses provenant de la fonte.

Composition de ce laitier.

Silice.	40,07
Oxyde de fer et alumine. . .	15,00
Chaux.	43,75
Soufre	0,50
	99,32

Si on rapproche le résultat analytique du dernier essai donnant en soufre 0,069 p. 100 du poids de la fonte, avec le soufre déjà trouvé dans une fonte très-grise, noire (0,09 p. 100), on voit bien que ce n'est pas au soufre combiné à la fonte (soufre qui pourrait former un véritable sulfocarbure de fer empêchant l'isolement du graphite) qu'il faut attribuer le blanchiment : c'est à la déperdition du soufre qui, comme l'ont démontré deux essais faits en fondant d'abord de la fonte grise, ensuite du fer doux décapé avec de la pyrite, ne peut que se combiner au carbone pour former du sulfure de carbone très-volatil qui rend une très-grande quantité de calorique latent. De là blanchiment par deux actions simultanées : soustraction d'une portion du carbone des fontes et abaissement de température par volatilisation du sulfure de carbone.

Quant au point où se forme le sulfure de carbone dans le haut-fourneau, on peut admettre qu'il se forme sur toute la hauteur à partir du point où la chaleur est rouge, en se rappelant que Lampadius fit la découverte du sulfure de carbone en chauffant au rouge des pyrites et du charbon, et que le haut-fourneau présente bien ces conditions. D'un autre côté, les analyses des gaz par M. Ebelmen (Annales des mines, t. V, 4e série) n'en ont pas constaté la présence; quoique

ce dernier prétende que vraisemblablement le soufre existe dans les gaz à l'état de sulfure de carbone, mais en proportion inappréciable. Il faut alors attribuer son absence aux propriétés réductives très-fortes que possède le sulfure de carbone, qui ne saurait subsister en présence de l'oxyde de fer. Au fur et à mesure de sa formation, il se décomposerait pour donner lieu à du sulfure de fer et de l'oxyde de carbone.

Il peut se faire encore que les pyrites, en perdant par la chaleur la moitié de leur soufre, le cèdent au fer déjà réduit pour le transformer en protosulfure sans formation de sulfure de carbone, et on arrive au même résultat, c'est-à-dire transformation du fer en protosulfure pendant son trajet dans la cuve et les étalages.

La castine n'ayant pas encore entièrement perdu son acide carbonique ne présente pas pour le soufre une affinité suffisante pour détruire le protosulfure de fer qui se forme sans cesse. Ce n'est que dans les régions voisines des tuyères, lorsque la castine est entièrement transformée en chaux vive et partiellement en calcium, que l'affinité du carbone à l'état naissant (graphite), jointe à celle de la chaux pour le soufre, amène la décomposition d'une partie du protosulfure de fer. Il y a alors formation de sulfure de carbone aux dépens du carbone de la fonte, et par cela même du calorique rendu latent. Une autre partie du soufre se combine au calcium.

Le sulfure de carbone, qui se forme dans le creuset même, doit être de nouveau en partie brûlé par le vent. Il en résulte de l'acide sulfureux et de l'acide carbonique qui reproduisent encore des sulfures de fer et de calcium et de l'oxyde

de carbone ; et ici on doit remarquer que la proportion de sulfure de calcium sera d'autant plus considérable que la chaux elle-même sera plus abondante dans le lit de fusion.

De cette dernière observation découle une conséquence très-utile dans la pratique, conséquence déjà mentionnée par M. Berthier (Essai par voie sèche) ; c'est qu'il convient, pour obtenir une fonte contenant le minimum de soufre, d'avoir des laitiers contenant le maximum de chaux ; j'ajouterai qu'il faut aussi dans ce cas avoir l'allure la plus chaude possible pour faciliter l'isolement du graphite et par suite la formation du sulfure de carbone qui sert de véhicule au soufre de la fonte dans le laitier.

En résumant les faits observés, on trouve :

1° Dégagement de globules brillants entre les parois du creuset et le culot métallique en fondant de la fonte grise en présence de pyrites, dégagement qui ne se manifeste pas dans la fusion du fer décapé en présence de ces mêmes pyrites ;

2° Déperdition de soufre par la fusion de ces mêmes fontes grises en présence de pyrites, déperdition qui n'a pas lieu par la fusion du fer décapé dans les mêmes circonstances ;

3° De là, combinaison évidente du soufre avec une partie du carbone des fontes et blanchiment par la soustraction de ce carbone à l'état de sulfure, et par le calorique rendu latent par sa volatilisation ;

4° Augmentation de soufre dans les fontes produites avec des minerais pyriteux, augmentation d'autant plus grande que la quantité de soufre dans le lit de fusion est plus considérable, la chaux restant constante dans les laitiers ;

5° Diminution très-grande du soufre dans les fontes par surcharge de chaux dans les laitiers et allure très-chaude, sans que cependant les fontes soient rendues grises lorsque la proportion de soufre est trop considérable, la chaux ne pouvant amener la décomposition totale du protosulfure de fer et éviter toute formation ultérieure du sulfure de carbone par la combinaison du graphite avec le soufre.

Nota. On est parvenu dans ces derniers temps à améliorer notablement le roulement des hauts-fourneaux et leurs produits par le lavage des houilles. Ce lavage bien complet a agi plus en prévenant cette action du soufre sur le carbone des fontes par l'enlèvement des pyrites qu'en augmentant le pouvoir calorifique du charbon par l'enlèvement des matières terreuses.

Au reste voici un fait à l'appui de ce que j'avance. Aux hauts-fourneaux de l'Orme (Loire), le coke des mines de la Péronnière, près Rive-de-Gier (*coke* dont on se sert actuellement), a toujours présenté des avantages bien marqués sur certains cokes de Saint-Etienne qui n'en diffèrent que par la quantité de soufre plus considérable que contiennent ces derniers. Le coke de la concession de la Péronnière a donné dans une moyenne d'un grand nombre d'essais :

Cendres.	12,50
Soufre	0,28
Carbone.	87,22
	100,00

Le coke de Chaney, près Saint-Etienne :

Cendres.	12,00
Soufre.	0,64
Carbone.	87,36
	100,00

Avec ce dernier coke, quoique bien fait et beau en apparence, mais contenant 0,36 p. 100 de plus de soufre que le précédent, on n'a jamais obtenu d'aussi belles fontes grises. Cependant on voit que la quantité de carbone dans ces derniers est au moins en quantité égale à celle du coke de la Péronnière. Les cendres sont au reste de même nature.

INTRODUCTION

A l'étude des préparations mécaniques des minerais, ou expériences propres à établir la théorie des différents systèmes usités ou possibles.

Par M. PERNOLET.

Lorsque en 1845, je visitai l'atelier de préparation mécanique fondé près de Carthagène par MM. Marck et Brunton (1), ce que ces messieurs me dirent des propriétés de l'appareil qu'ils tenaient alors secret m'avait d'abord donné à penser que c'était en précipitant le minerai brut dans une profondeur d'eau convenable, qu'ils comptaient sur le libre jeu des pesanteurs spécifiques pour obtenir les différents minéraux chacun séparément dans l'ordre de leur vitesse de chute. Je me promis dès lors d'expérimenter la précipitation des minerais au milieu de l'eau, pour savoir ce qu'on pouvait en attendre.

Théoriquement le succès d'un procédé de préparation basé sur ce principe n'a rien d'impossible. La condition essentielle est que les substances à séparer se trouvent réduites en grains de volume à peu près uniforme; or des criblages successifs faits avec soin passent pour être capables de produire ce résultat. Cependant la théorie des préparations mécaniques basée sur la double influence des densités et des volumes, est connue depuis longtemps; la multiplicité des criblages n'est pas

(1) *Voir* Ann. des Mines, 4e série, t. XVI, p. 47 à 77.

faite pour arrêter les exploitants, en présence de la main-d'œuvre considérable et de la lenteur habituelle des préparations ordinaires; enfin, l'exécution d'un procédé basé sur la précipitation libre des matières dans une eau dormante ou animée d'une certaine vitesse, n'a rien d'impraticable en soi.

Lors donc qu'on connaît la variété et le nombre des appareils de préparation communément employés à la fois dans les établissements bien dirigés; lorsqu'on sait que pour certains minerais les soins les plus minutieux n'empêchent pas des pertes de 10, de 25 et même de 50 p. 100 et plus de se présenter dans le cours des préparations ordinaires; on se demande comment il se fait qu'un procédé fondé sur la précipitation libre n'ait jamais été essayé (1) ni même proposé, bien qu'un procédé de ce genre semble être l'application la plus directe et la plus générale de la théorie des préparations mécaniques, telle qu'on l'enseigne.

C'est pour répondre à cette question que je me suis livré aux recherches qui font l'objet de ce mémoire.

Indication sommaire des principaux résultats de nos recherches.

Ces recherches m'ont fait reconnaître :

1° Que les criblages ordinaires les plus soignés sont incapables de produire des lots de minerais composés de grains de volume à peu près uniforme.

2° Que ce défaut d'uniformité, toujours fort grand, varie pour les différents minéraux avec leur structure.

3° Que par suite des différences de calibre,

(1) La cuve anglaise fait exception; mais d'une application très-restreinte en Angleterre, cet appareil utile semble inconnu sur le continent.

propres aux produits des criblages les plus soignés, l'influence des densités peut se trouver complétement paralysée pour certaine partie des mélanges à séparer.

4° Que les différences de forme peuvent exercer une influence perturbatrice plus grande encore que celle dont les différences de calibre sont cause.

5° Que dans les systèmes de préparations mécaniques usités les entraves mises au libre jeu des pesanteurs spécifiques rendent inapplicables à plusieurs manipulations courantes la théorie fondée sur l'influence simultanée de la densité et du volume des matières à séparer.

6° Que ces entraves sont néanmoins extrêmement utiles et quelquefois tout à fait nécessaires pour corriger l'influence nuisible des différences de calibre et de forme que les moyens de classement usités engendrent inévitablement.

7° Que si, au lieu de classer les minerais bruts au moyen de criblages successifs, on les classait au moyen de la précipitation libre dans l'eau, les procédés ordinaires de préparation mécanique sembleraient devoir emprunter à cette modification plus de simplicité dans les manipulations et en même temps plus de netteté dans les résultats.

8° Enfin dans certains cas, la précipitation libre suivie d'un simple criblage semble pouvoir suffire pour produire des minerais convenablement enrichis.

9° J'ai eu en outre occasion de montrer que la série de cribles à travers lesquels on fait successivement passer les minerais bruts destinés au lavage peut être assujettie à une loi capable de servir à la détermination du calibre des cribles qui conviennent à un classement rationnel.

10° J'ai établi, par voie expérimentale, les lois relatives à la chute des minerais au milieu d'un fluide soit en repos, soit en mouvement.

11° J'ai cherché à donner approximativement la mesure de l'effet des différentes causes perturbatrices qui mettent obstacle au jeu des pesanteurs spécifiques.

12° J'ai fait voir ce qui manque à la formule relative à la chute des corps sphériques de densité et de diamètres différents pour être applicable aux formes variées des minéraux métalliques et pierreux.

13° J'ai prouvé l'impuissance de la ventilation comme moyen précis de préparation mécanique et indiqué les causes de cette impuissance.

14° J'ai indiqué un nouveau mode de criblage qui paraît être de nature à fonctionner plus rapidement et d'une manière bien moins imparfaite que les différents moyens usités jusqu'à présent.

15° J'ai proposé un nouveau système d'essai très-expéditif et qui semble pouvoir suffire pour certaines matières.

16° Enfin, j'ai exposé la suite des moyens qui me paraissent capables de conduire à la moindre déperdition possible de minerai.

Les obligations du métier laissent rarement la faculté de donner à des expériences minutieuses et de longue haleine toute la précision nécessaire, toute la suite désirable pour remplir complétement un pareil programme; aussi plusieurs des données dont j'ai fait usage, plusieurs des résultats que j'ai obtenus laissent-ils à désirer. Je n'ai passé outre que lorsque les conséquences pratiques de ces résultats m'ont paru secondaires. Aussi j'espère que, malgré leur insuffisance, ces recherches pour-

ront contribuer à jeter quelque jour sur un point de l'art des mines qui n'est pas sans obscurité.

Mon travail est divisé en quatre parties.

I. Recherches sur la précipitation des minéraux au milieu d'un liquide en repos. Plan du mémoire.

II. Recherches sur la chute des minéraux au milieu de l'air en repos ou en mouvement.

III. Exposé d'un nouveau système de criblage et de lavage basé sur la précipitation des minéraux au mileu de l'eau en mouvement.

IV. Exposé des soins à prendre pour retirer d'un minerai brut donné le plus possible de minerai suffisamment net.

I.

Recherches sur la précipitation des minéraux au milieu d'un liquide en repos.

Lorsque des fragments de minerai se trouvent abandonnés à eux-mêmes dans un milieu fluide, les forces qui déterminent la vitesse de la chute dépendent de nombreux éléments, tous variables et dont la mesure précise est, à bien dire, insaisissable ; ce sont la densité, le volume et la forme des différents grains minéraux sur lesquels on opère, la densité du fluide, sa consistance, enfin la liberté plus ou moins grande laissée au mouvement de chacun des fragments, par suite de leur rapprochement plus ou moins grand soit entre eux, soit par rapport aux parois du vase dans lequel la précipitation a lieu.

Il est inutile d'insister sur l'extrême variabilité

de la plupart de ces différents éléments; je ne le ferai que pour la densité qui semble comporter plus de constance.

Variations de la densité.

Une même substance peut se présenter avec des densités différentes, non-seulement par suite de ces petites causes de variations que Beudant a signalées dans les substances pures elle-mêmes (1), mais surtout en raison de la présence de corps étrangers dont la séparation préalable n'est pas possible soit par procédé mécanique, soit économiquement. Ce sont surtout des corps étrangers intimement combinés qui font varier la densité de la galène, par exemple, de 7.785 à 7.220 et celle de la blende de 4.078 à 3.770 (2) et la séparation de ces corps n'est pas du domaine des préparations mécaniques. Des variations d'un ordre égal et même supérieur peuvent provenir de la présence de bulles d'air adhérentes aux creux des fragments ou parcelles. Mais les variations de densité les plus considérables sont celles qui naissent si fréquemment de l'interposition de parcelles pierreuses dans des grains métalliques suffisamment purs d'ailleurs pour convenir au travail métallurgique.

Ces différentes causes peuvent agir simultanément et produire des variations de 20 à 25 p. 100 et plus dans la densité propre à un même minerai métallique. Néanmoins, si les autres éléments n'étaient pas sujets à des variations bien autrement considérables, les préparations mécaniques ne donneraient pas lieu à de très-grandes difficultés.

(1) Annales de chimie, t. XXXVIII, p. 398.
(2) Berthier. Essais par voie sèche, t. II, p. 579 et 697.

En général, s'il était possible de préparer les minerais bruts en lots composés de grains de volume uniforme, si l'on pouvait faire abstraction de la forme des corps, si le mode de préparation employé permettait de laisser à chaque fragment une liberté de mouvement complète; en un mot, si *la densité* et le calibre étaient seuls à considérer, la loi qui présiderait à la précipitation des différentes substances dont les minerais bruts se composent, serait de nature à être formulée simplement. M. de Hennezel l'a indiquée, lorsque, dans le mémoire qu'il a publié sur la préparation mécanique de Harz (1), il a dit : « En discutant l'expression de la vitesse d'un » corps sphérique tombant sans vitesse initiale » dans un milieu résistant, on trouve que la vi» *tesse* acquise à un instant donné varie suivant » *une loi de* progression un peu moins rapide » qu'en raison directe des racines carrées de la » densité et du diamètre des corps et qu'en rai» son inverse de la racine carrée de la densité du » *fluide.»* *Il résulte* de là que, pour deux corps sphériques de densités D et d et de diamètres Δ et δ, qui seraient abandonnés chacun dans un fluide de densité Q pour le premier et q pour l'autre, les vitesses correspondantes V et v seraient données, en fonction l'une de l'autre, par l'expression :

$$\frac{V}{v} = \sqrt{\frac{D \times \Delta \times q}{d \times \delta \times Q}}$$

Cette formule donne la mesure de l'influence théorique du calibre et de la densité. Pour ce qui

(1) Annales des mines, 4ᵉ série, t. IV, p. 355.

est du calibre, j'ai pu confirmer sa justesse au moyen d'une série d'expériences faites sur des sphères en plomb. C'étaient des balles et du plomb de chasse de calibres différents qu'on abandonnait au milieu d'une colonne d'eau de 6 mètres de hauteur, contenue dans un tube en verre ayant $0^m,20$ de diamètre intérieur (1).

La densité prise dans l'eau commune avait été trouvée égale à 11,23 pour les balles et à 11,15 pour les plombs granulés. Bien que de bonne fabrication courante, ces sphères étaient loin d'être parfaites. J'ai pris leurs diamètres de deux manières différentes : 1° en mesurant balles ou grenailles mises en nombre sur une même ligne et en contact;

2° En déduisant les diamètres, par calcul, du poids moyen des différentes sortes de sphères et de leur densité.

---

(1) Notre tube était formé de sept manchons de un mètre de longueur, terminés chacun par deux montures en plomb, à oreille circulaire percée de trous. Les manchons étaient assemblés au moyen de leurs oreilles par six boulons à chaque joint, et ces joints rendus étanches par du mastic interposé. L'appartil entier se composait de deux colonnes égales communiquant entre elles, l'une en verre pour la précipitation des minerais, l'autre en fonte et de diamètre intérieur double : les extrémités supérieures des deux colonnes étaient de niveau, mais à sa partie inférieure la colonne en fonte était embranchée latéralement sur la colonne en verre à un mètre au-dessus de la base de celle-ci. Cette disposition avait été adoptée d'abord pour que les dépôts de minerais qui devaient être reçus dans le manchon en verre inférieur fussent assurés de se trouver à l'abri du flux et du reflux que pouvait produire chaque projection d'une quantité notable de minerai, ensuite en vue d'expérimenter les effets du criblage à l'eau au moyen d'un piston agissant dans la colonne en fonte.

Les vitesses ont été comptées au moyen d'une montre à secondes, en donnant le signal du départ à un commencement de seconde, et en appréciant l'instant de l'arrivée au son de la voix d'un observateur qui avait l'œil sur le bas de la colonne d'eau.

Je n'oserais pas garantir à plus d'un tiers ou même d'une demi-seconde près l'exactitude de ces observations, pour lesquelles les fractions étaient estimées à l'œil. Toutefois, si chacune d'elles comportait une erreur aussi forte en plus ou en moins, les chiffres inscrits sur le tableau suivant ont chance d'être plus précis, attendu que chacun d'eux est la moyenne de dix observations.

On a eu occasion de remarquer que quelques-unes des balles descendaient suivant une spirale, en frottant avec bruit contre les parois du tube en verre de $0^m,20$, au centre duquel on les laissait tomber sans vitesse initiale, en desserrant les deux doigts qui les soutenaient au milieu de l'eau.

Tableau n° I relatif à des corps sphériques de diamètres différents tombant dans une colonne d'eau de 6 mètres de hauteur.

Numéros des séries.	Désignation.	Poids.	Diamètres calculés.	Diamètres mesurés.	Durée de la chute.
		gr.	mèt.	mèt.	secondes.
I.	Grosse balle. . .	24,90	0,0161	0,0165	3,54
II.	Moyenne balle. .	13,60	0,0132	0,0131	3,91
III.	Petite balle. . . .	9,50	0,0117	0,0115	4,28
IV.	Chevrotine. . . .	1,81	0,0067	0,0069	5,20
V.	Plomb n° 1 . . .	0,415	0,0041	0,0040	6,30
VI.	Plomb n° 4 . . .	0,235	0,0034	0,0034	6,73
VII.	Plomb n° 7 . . .	0,065	0,0022	0,0024	8,04

En étudiant les résultats consignés dans ce tableau, on reconnaît que les rapports entre les vi-

tesses observées sont sensiblement égaux à ceux qu'on déduirait de la formule.

Ainsi, tandis que celle-ci donnerait 1,40 pour le rapport des vitesses correspondantes à II et IV, l'observation donne 1,33; on a 1,66, au lieu de 1,74 pour IV comparé à VII; enfin, pour V et VII, on trouve 1,370, au lieu de 1,365.

Il est à remarquer que les différences entre le calcul et l'expérience sont d'autant plus petites que l'on s'éloigne davantage des calibres les plus gros : cela tient sans doute à ce que le défaut de précision de nos observations se faisait sentir d'autant moins fortement que la durée des temps de chute était plus grande.

Influence du calibre seul.

Ainsi, pour des diamètres qui ont varié de 1 à 2 et à 3, notre formule se trouve vérifiée à moins de 1/20 près. Il en résulte que, pour des différences de diamètres dans le rapport de 1 à 2, les temps de chute varient dans le rapport de 1000 à 1414, et que, pour aller jusqu'à doubler le temps de chute, il faudrait que le diamètre se trouvât réduit dans le rapport de 4 à 1.

On verra plus loin que, lorsque le classement des matières est fait avec soin, on n'a pas à considérer des différences de calibres de 4 à 1, ou du moins que, s'il s'en rencontre, ce n'est communément que pour des quantités négligeables. Par conséquent, des variations de 1 à 2 dans les temps de chute représentent le maximum de l'influence perturbatrice à laquelle les simples variations de calibre peuvent donner lieu.

Influence de la densité seule.

Quant à l'influence de la densité seule, je n'ai pas pu, comme pour le calibre, la constater par expérience : on verra plus loin qu'il y a tout lieu de croire que la formule l'exprime d'une manière

satisfaisante. Si donc, pour une même substance, la densité ne varie pas habituellement de plus de 20 à 25 p. 100, comme nous l'avons indiqué plus haut, les variations de vitesses dues à cette cause ne sauraient dépasser le rapport de 100 à 115. Pour des substances différentes les variations peuvent aller au rapport de 100 à 175 (ce qui arrive pour la galène comparée au quartz), et même au rapport de 100 à 300, qui s'applique à l'or et au platine comparés au même quartz. Cette dernière différence doit être considérée comme l'extrême limite des différences entre les temps de chute imputables aux densités seules. Communément les différences propres aux minéraux qu'il s'agit de séparer dans les préparations mécaniques ne dépassent pas le rapport de 100 à 150, ou tout au plus celui de 100 à 200.

Influence de la forme seule.

L'influence de la forme seule a pu être appréciée directement comme l'influence du calibre, et c'était d'autant plus important que la formule fait forcément abstraction de cet élément essentiel. Pour tâcher d'avoir une mesure approchée de l'*influence* de la forme seule sur la durée de la chute des corps au milieu de l'eau, j'ai façonné de dix manières différentes, sans en rien retrancher, des balles en plomb du même calibre, en ayant soin que, sauf deux exceptions, la plus grande dimension de ces dix solides ne dépassât pas le double du diamètre de la balle prise pour terme de comparaison. J'ai eu ainsi onze séries de solides de formes différentes et de même poids qu'on a laissé tomber comparativement au milieu de la même colonne d'eau de 6 mètres de hauteur, qui avait servi aux expériences précédentes.

Les temps de chute inscrits sont des moyennes de 6 à 10 observations.

Tableau n° II relatif à des corps de même densité et de même volume, mais de formes différentes tombant dans une profondeur d'eau de 6 mètres.

Numéros des séries.	Forme.	DIMENSIONS Diamètre.	Épaisseur.	Durée de la chute.
		millimètres.	millimètres.	secondes.
I.	Sphère. . . .	14 à 15	14 à 15	3,91
II.	Cube.	11 à 12	11 à 12	5,83
III.	Cylindre 1 .	11 à 12	13 à 14	5,25
IV.	Cylindre 2 .	17	7	6,90
V.	Cylindre 3 .	20	5 à 6	7,16
VI.	Prisme 1 . .	8 sur 8	26 à 27	7,33
VII.	Prisme 2 . .	17 sur 19	5 à 7	7,60
VIII.	Prisme 3 . .	22 sur 23	3 à 4	9,25
IX.	Prisme 4 . .	62 sur 3 1/2	2	8,83
X.	Cylindre 4 .	26	3 à 4	9,30
XI.	Cylindre 5 .	42	1 1/4	10,67

OBSERVATIONS.

I. La durée de chute a varié de 3 à 4''.

VI. A varié de 7 à 8''. 8'' correspondaient à des descentes en spirale, 7'' à des chutes verticales.

VIII. A été jeté à plat ou dans le sens de son grand axe, sans variation dans ce temps de chute.

IX. Tombait à plat, qu'on le jetât à plat ou dans le sens de son grand axe.

XI. Toujours jeté à plat, a néanmoins varié de 10 à 11''.

Il suffit de rapprocher les deux tableaux I et II pour reconnaître à première vue que les variations de forme ont sur la durée des temps de chute une influence encore plus prononcée que les variations de calibre. En effet, il faut une différence de calibre dans le rapport de 1 à 2 pour donner lieu à une différence dans les temps de chute dans le rapport de 1 à moins de 1 1/2, tandis que cette différence de 1 à 1 1/2 se trouve produite par les différences de formes les plus petites possibles, pour ainsi dire, par celle qui existe à volume égal entre la sphère d'une part, et un cy-

lindre ou un cube de dimensions égales, à 1/7 près, au diamètre de cette sphère.

On voit, en outre, que l'allongement des formes, et surtout leur aplatissement, sont les causes qui contribuent le plus au ralentissement de la chute.

Enfin, à allongement égal, les formes anguleuses paraissent être une cause de ralentissement plus grandes que les formes arrondies.

Comme les formes variées des grains produits par le broyage des minerais ne sont pas de nature à être exprimées géométriquement, on ne peut guère tirer du tableau n° II que les inductions générales qui viennent d'être énoncées. Nous nous bornerons donc à conclure de ce qui précède que, dans l'étude qui nous occupe, il ne saurait être permis de faire abstraction de la forme, et que c'est uniquement par des experiences directes qu'on peut connaître, même approximativement, à quel degré cet élément influe sur les temps de chute des différentes substances qui entrent dans une même classe de grenailles ou de sables préparés à la manière ordinaire.

De même, l'expérience seule peut apprendre entre quelles limites sont habituellement comprises les variations de calibre propres à chaque substance et à chaque classe de grenailles et de sable.

Néanmoins l'expérience seule, directement appliquée aux substances minérales, n'aurait pas pu nous conduire aux notions spéciales que nous venons d'acquérir, parce que les différents éléments qui nous intéressent n'auraient pas pu être considérés à part.

Dans les expériences complémentaires qu'il me

reste à rapporter, j'ai opéré sur des minéraux dont les densités ont varié de 7,50 à 1,30 environ, et dont la grosseur a varié depuis celles des morceaux qui passent à travers les mailles carrées de 3 centimètres de côté, jusqu'à l'inappréciable calibre des poussières qui passent à travers le tamis de soie. Je diviserai ces différentes grosseurs en deux groupes, les *grenailles* et les *sables*, appelant grenailles les fragments de 30 à 4 ou 5 millimètres de côté, et sables toutes les parcelles de calibre inférieur.

Les grenailles ont été obtenues au moyen de criblages successifs faits à sec, en opérant à la main dans cinq cribles à mailles carrées, sur 2 ou 3 décimètres cubes seulement de matière pour chaque classe. On agitait le crible tant qu'il passait quelque chose au travers.

Les sables ont été classés plus minutieusement encore, au moyen de douze cribles à trous ronds percés dans une tôle mince, trous qui ne différaient que d'un quart environ de millimètre d'un numéro au numéro suivant (1). On s'est en outre servi de tamis de batiste et de soie pour classer les sables de moins d'un millimètre de côté.

Sauf deux exceptions qui sont notées dans le tableau relatif aux sables, j'ai opéré sur des matières parfaitement desséchées; cette circonstance

(1) Ces douze cribles sont ceux qui servent à classer le plomb de chasse; ils sont tellement rapprochés que j'ai cru inutile, pour l'objet que j'avais en vue, de les mettre tous en expérience : ce ne sont donc que les n°s 1, 4, 7 et 11 que j'ai soumis tant à l'examen comparatif du calibre des grains extrêmes appartenant à une même classe, qu'à l'étude des temps de chute au milieu des différents fluides sur lesquels nous avons opéré.

est nécessaire pour l'élimination des particules, que la moindre humidité rend adhérentes aux fragments ou parcelles des différents calibres. En grand, pour les minerais métalliques, il serait habituellement impossible de compter sur la complète dessiccation des minerais à préparer, de même d'ailleurs que sur tous les autres soins minutieux qui ont été apportés à nos criblages. On doit donc compter que les différences que nous pourrons constater pour une même classe, tant dans les calibres que dans les temps de chute, seront des *minima*.

Chacune des classes obtenues au moyen de nos criblages successifs a été divisée, par triage à la main, en groupes dans lesquels on a tâché de réunir les fragments qui paraissaient être de volume *à peu près* égal. Sur les tableaux suivants on n'a porté que les résultats correspondants aux groupes extrêmes et à un ou deux groupes intermédiaires.

Les temps de chute ont été déduits comme précédemment d'une série d'observations sur des grains *isolés* pour chaque groupe de chaque classe. On s'est servi tantôt d'une montre à secondes, tantôt d'un pendule battant les demi-secondes, ce qui a paru préférable.

Les résultats que donnent les deux tableaux suivants relativement au temps de chute doivent être considérés comme les résultantes de toutes les influences capables de troubler ou de favoriser le jeu des pesanteurs spécifiques, dans le cas particulier de grains isolés tombant librement dans l'eau. Nous aurons à rechercher ensuite le nombre et l'importance des différentes composantes.

Influence simultanée de la densité, du calibre et de la forme.

Tableau n° III relatif à la précipitation des grenailles dans une eau dormante.

MOYENS de classement employés.	INDICATION des classes.	GALÈNE. Poids.	GALÈNE. Vitesse.	QUARTZ. Poids.	QUARTZ. Vitesse.	HOUILLE. Poids.	HOUILLE. Vitesse.	OBSERVATIONS.
		gr.		gr.		gr.		
Passe par mailles carrées de 30 millim. de côté, reste sur mailles de 18.	PREMIÈRE CLASSE. 5 groupes pour chacun des 3 minéraux.	78,33 45,25 17,50	4''60 5 87 5 92	44,20 25,17 2,70	9''30 10' 41 22 80	18,00 11,25 5,00 3,75	22' 20 29 77 32 40 43 40 (8) 36 48	(1) Plat. (2) Pyriforme, descend le gros bout en bas. (3) Allongé et plat, descend à plat. (4) Plat. (5) De forme arrondie. (6) Long. (7) Plat. (8) Très-plat. (9) Presque cubique. (10) Long. (11) Arrondi. (12) Long. (13) De forme arrondie.
Passe par mailles carrées de 18 millim. de côté, reste sur mailles de 7.	DEUXIÈME CLASSE. 7 groupes pour galène. 6 groupes pour quartz. 5 groupes pour houille.	21,25 12,25 1,43	5 40 6 31 8 30	10,70 4,00 0,214	12 00 14 10 24 00 (1) 37 20	5,08 2,50 0,333	31 46 30 00 (9) 42 00 46 60	
Passe par mailles carrées de 7 millim. de côté, reste sur mailles carrées de 5 1/2.	TROISIÈME CLASSE. 3 groupes pour galène. 8 groupes pour quartz. 4 groupes pour houille.	1,416 0,040	8 40 9 60	0,900 0,675 0,333 0,224 0,006	15 60 20 85 25 00 20 19 (2) 39 30 (3) 45 00 (4)	0,226 0,150 0,050	41 79 62 50 (10) 47 84 (11) 56 40 87 90	
Passe par mailles carrées de 5 1/2 mill. de côté, reste sur trous ronds de 4,44 millimètres de diamètre.	QUATRIÈME CLASSE. 2 groupes pour galène. 2 groupes pour quartz. 3 groupes pour houille.	0,600 0,120	9 24 12 22	0,300 0,100 0,002 0,022	21 19 23 62 (5) 37 80 (6) 20 29 73 96 (7)	0,150 0,075 0,020	60 75 (12) 57 75 (13) 67 20 116 80	

Tableau n° IV relatif à la précipitation des sables dans une eau dormante.

Classes.	MOYENS DE CLASSEMENT.	Galène à clivage cubique.	Pyrite cristallisée.	Blende lamellaire.	Baryte sulfatée lamellaire.	Chaux carbonatée lamellaire.	Quartz rubanné.	Plombagine.	Houille grasse.
I.	Grains passant par trous ronds de $4^{mm},44$ et restant sur trous ronds de $4^{mm},17$ de diam.	9''00 15 40	13''50 17 00	13''67 20 34	14''67 19 00	18''66 27 66	21''25 66 00	25''33 44 00	75''00 100 50
II.	Grains passant par trous ronds de $3^{m},94$ et restant sur trous ronds de $3^{mm},67$.	12 50 17 45	16 67 24 50	19 00 36 25	17 50 27 25	22 66 44 00	25 95 65 40	40 75 81 33	65 50 146 00
III.	Grains passant par trous ronds de $2^{m},77$ et restant sur trous ronds de $2^{m},50$.	15 51 21 75	20 25 32 50	25 33 53 00	21 00 45 57	30 00 52 00	30 00 118 50	47 33 108 67	79 00 2 14 00
IV.	Grains passant par trous ronds de $1^{mm},77$ et restant sur trous ronds de $1^{mm},50$.	18 48 31 20	26 50 38 60	41 67 75 67	31 33 70 66	37 00 85 00	45 50 75 50	64 33 181 33	122 25 308 75
V.	Sables fins restant sur tamis de batiste après avoir traversé le crible de $1^{mm},50$.	22 00 41 25	20 50 94 38	37 33 102 66	39 50 97 25	56 25 156 25	82 00 123 07	» »	» »
VI.	Sables fins restant sur tamis de soie après avoir traversé le tamis de batiste.	46 75(1) 122 08	25 00 51 33	» »	65 00 124 60	98 65 260 15	121 50 227 50	» »	» »
VIII.	Poussières passant à travers le tamis de soie.	67 00(2) 103 00	» »	» »	61 67 145 34	111 99 282 00	» »	» »	» »

(1) et (2) Mouillées; avec des poussières sèches, on a eu 60''80 et 48''25 pour le n° VI et 15''33 et 38''66 pour le n° VII.

Ces deux tableaux montrent que, lorsque le classement des grenailles et des sables est fait par criblages successifs avec tous le soin que nous avons mis aux nôtres, la somme des influences nuisibles imputables aux différents calibres et aux différentes formes qui peuvent se rencontrer dans une même classe est représentée par des variations dans les temps de chute qui vont de 1 à 1 1/2, à 2 et jusqu'à 3, c'est-à-dire qu'entre les temps de chute au milieu de l'eau, propres aux grains d'une même substance et d'une même classe qui se précipitent le plus vite et à ceux qui tombent le plus lentement, il faut s'attendre à trouver des différences de 1 à 1 1/2, à 2 et même à 3, bien que ces classes aient été préparées avec des soins à peu près impraticables en grand, ou au moins non pratiqués, particulièrement pour les sables des minerais métalliques. Ces variations paraissent être renfermées entre des limites qui ne sont pas les mêmes pour les différentes substances soumises à nos expériences. Plus rapprochées pour la galène et la pyrite les limites s'élargissent pour la blende, la baryte sulfatée et la chaux carbonatée, et elles atteignent le maximum de leur écartement pour le quartz; cela pour les grenailles aussi bien que pour les sables. La houille, au contraire, paraît se comporter autrement à l'état de grenaille et à l'état de sable : à l'état de grenaille, les variations qu'elle présente sont à peu près les mêmes que celles assignées par le tableau n° IV à la blende, à la baryte sulfatée et à la chaux carbonatée, c'est-à-dire à des substances qui se divisent en fragments lamellaires ou rhomboédriques; tandis qu'à l'état de sable, elle se trouve comprise entre la plombagine et le quartz, minéraux qui,

pour les variétés soumises à nos expériences, se divisaient en fragments esquilleux.

De cette circonstance il semble permis d'induire que c'est surtout à la forme des corps que doivent être attribués les variations que nous venons de constater dans l'étendue des limites propres aux temps de chute des grains de minéraux différents appartenant à une même classe; car les variations observées ne suivent nullement l'ordre des densités, et c'est plus particulièrement la forme qui paraît avoir éprouvé des changements pour notre houille, lorsqu'elle a passé de l'état de grenaille à l'état de sable. Ce changement était incontestable; à l'état de grenaille, notre houille était sous forme de fragments pseudo-rhomboédriques; à l'état de sable, au contraire, elle se présentait sous des formes irrégulières, généralement allongées et à cassure conchoïdale.

Influence de la structure des minéraux sur les variations dans les temps de chute propres aux grains d'une même classe.

Cette influence générale de la forme sur les variations des temps de chute peut tenir à deux causes: d'une part, à la structure propre aux différents minéraux; de l'autre, à des différences de calibre que la différence de structure peut rendre plus ou moins grandes pour une même classe.

Étudions de plus près et séparément, autant que possible, ces deux causes.

Pour apprécier d'abord l'influence de la forme dégagée de l'influence du calibre, nous ne pouvons pas nous contenter de considérer les grains d'une même substance appartenant à une même classe : on voit en effet, sur le tableau n° III, qu'une même classe comprend des groupes composés de grains qui peuvent différer en poids de

1 à 15 et au delà, d'un groupe à l'autre, et de pareilles différences dans les poids sont nécessairement accompagnées des différences de calibres, dont il n'est pas possible de faire abstraction. Tout ce que nous pouvons faire, c'est de comparer entre eux les fragments appartenant à un même groupe, c'est-à-dire ceux que nous avions choisis à la main parmi les grenailles d'une même classe comme offrant à l'œil les plus grands rapports de grosseur. Or ceux-là peuvent donner lieu à des temps de chute différents dans le rapport de 1 à 1 1/2, ainsi que le montrent six résultats consignés dans le tableau n° III, dans les colonnes du quartz et de la houille. La différence peut même aller jusqu'au rapport de 1 à 2, comme cela résulte de trois exemples du même tableau, relatifs deux au quartz (voir (2) et (3)), l'autre à la houille (voir le troisième groupe de la quatrième classe).

Influence des formes aplaties.

Maintenant, si l'on se reporte à la colonne des observations qui mentionnent les différences de formes auxquelles doivent être plus particulièrement attribuées ces différences dans les temps de chute, on reconnaît que c'est la forme aplatie qui paraît mettre le plus grand obstacle à la chute des grenailles dans l'eau, et le degré d'influence imputable à cette cause paraît capable de s'élever jusqu'au rapport de 1 à 2 pour des grenailles de calibres sensiblement égaux. (Voir la colonne des observations, n^os (1) et (3).)

Influence des formes allongées.

Vient ensuite la forme allongée qui, pour une même substance et un même groupe, donne des différences dans les temps de chute de 1 à 1 1/2; comme le montrent les observations inscrites sur notre tableau n° III, sous les n^os (6) et (10).

Exception relative aux grains pyriformes.

Parmi les grains de forme allongée, il est essentiel de distinguer ceux qui sont pyriformes; l'observation notée sous le n° 2 montre que ces grains-là, bien qu'allongés, peuvent descendre, au contraire, plus vite que des grains trois fois plus lourds, mais de forme ordinaire.

Les grains pyriformes descendent leur gros bout en bas et leur grand axe vertical; tandis que, dans le cas de ralentissement de chute des grains longs ordinaires, ce grand axe se tient plus rapproché de l'horizontale.

Influence des formes concentrées.

L'observation n° 9 montre que la forme cubique est assez favorable à la rapidité de la descente pour que des différences de grosseur dans le rapport de 1 à 2 soient sans influence sensible sur la vitesse que peuvent prendre des fragments ayant approximativement cette forme, comparés à d'autres fragments pseudo-rhomboédriques.

Enfin l'observation n° 11 ferait voir que la forme arrondie est éminemment favorable à une précipitation rapide, si ce fait n'était pas rendu plus *manifeste* encore par le tableau n° II, où l'on a vu que la sphère a un avantage de 1 à 1 1/3 sur le cube de même volume. La différence est sensiblement moindre entre le même cube et le cylindre de même volume et de dimensions à peu près égales. C'est de ces deux faits surtout qu'on est en droit de déduire l'influence nuisible des formes anguleuses, même pour des angles à 90°.

Les observations relatives aux grenailles de certains minéraux s'accordent, comme on le voit, avec celles que nous avions faites sur les onze séries de solides en plomb de même volume qui ont donné lieu au tableau n° II. Les résultats gé-

néraux que nous venons de rapporter peuvent donc être admis comme suffisamment vérifiés.

Faute de pouvoir définir d'une manière moins vague les formes si variées et si irrégulières que le broyage des minerais produit, nous ne pouvons guère prétendre à des notions plus complètes que les notions générales exposées ci-dessus touchant l'influence de la forme seule sur la manière dont les minéraux se comportent au milieu de l'eau. Mais c'est quelque chose que d'avoir reconnu que le maximum de l'influence de cet élément paraît être représenté par des variations de 1 à 2 dans les temps de chute, pour la même substance et la même classe. Or, si nous avons constaté d'autre part des variations de 1 à 3, dans les temps de chute propres à des grains d'une même substance appartenant à la même classe, et si la forme seule n'est capable que de donner lieu à des variations de 1 à 2 au plus, on se trouve porté à induire de nos observations que c'est à des différences de calibre qu'il faut probablement attribuer le surcroît de différence nécessaire pour atteindre l'extrême limite du rapport de 1 à 3.

Étudions donc, à leur tour, les variations que comportent les calibres des grains d'une même classe.

Je rechercherai d'abord quelle relation peut exister entre le calibre des plus gros grains qu'un crible laisse passer et l'ouverture des trous de ce crible.

En premier lieu, j'examinerai les sables que nos douze cribles à trous ronds ont permis de classer avec un degré de précision que ne comporte pas, ce semble, l'emploi des cribles à mailles carrées en général et particulièrement le petit

nombre de cribles à mailles à peu près carrées, dont nous nous sommes servi pour les grenailles.

Comme pour les expériences relatives à la précipitation dans l'eau, chaque classe a été formée de l'ensemble des grains qui, après avoir traversé un crible, restaient sur le numéro suivant, dont le diamètre ne différait du précédent que d'un quart de millimètre. Chacune des classes ainsi obtenues a été ensuite subdivisée en trois groupes : 1° les grains les plus gros; 2° les moyens, qui formaient la grande majorité; 3° les plus petits.

A la suite de ce classement, les grains extrêmes se montrent seuls nettement caractérisés; ce sont aussi les seuls sur lesquels j'ai porté mon attention.

On n'avait mis ensemble dans la catégorie des grains extrêmes que ceux dont le calibre paraissait être sensiblement le même. Ces grains, au nombre de 75 à 100 pour chaque groupe extrême, ont été pesés, et le poids moyen de chacun d'eux, par suite leur volume, a été déduit du poids total du groupe.

Plus grand volume des sables passant à travers cribles à trous ronds.

Or, en représentant par 100 le volume d'une sphère de la même substance qui aurait le diamètre des trous, j'ai trouvé que le volume des plus gros grains passant en réalité par ces trous variait, avec les différents numéros, de 47 à 70 pour la galène, de 44 à 80 pour la houille, de 55 à 90 pour le quartz.

Les variations observées étaient indépendantes de l'ordre des numéros; les *minima* appartenaient à des groupes composés de grains dont les dimensions dans les différents sens paraissaient peu différentes, les *maxima* à des groupes composés de grains visiblement allongés.

On remarque que les minima ont fort peu varié

pour les trois minéraux soumis à cette investigation, et il arrive que ces minima sont très-approximativement représentés par la moitié du volume de la sphère, qui aurait pour diamètre celui des trous au travers desquels ces grains ont passé.

Les maxima, au contraire, semblent varier avec la structure des minéraux, et être d'autant plus grands que les minéraux sont de nature plus esquilleuse et plus disposés à donner des fragments allongés.

On est porté à induire de ce double fait que les maxima doivent correspondre à des grains qui ont traversé le crible dans le sens de leur longueur, en présentant au passage des trous une section tout au plus égale à celle qui correspond aux minima.

Si cette induction était fondée, la section transversale des plus gros fragments qui traversent un crible serait égale aux deux tiers au plus de l'ouverture des trous circulaires de ce crible, — cela en supposant ces fragments sphériques, — supposition qui donne pour la section transversale un maximum.

Si l'on supposait cubiques les plus gros grains non allongés qui ont donné les minima, et si l'on admettait que ces grains passaient à travers les trous en présentant une de leurs faces à l'ouverture, la section transversale, au lieu d'être égale aux deux tiers de cette ouverture comme dans l'hypothèse de grains sphériques, n'en serait plus que la moitié.

Pour les grains de galène correspondant aux minima, cette hypothèse de grains cubiques était sensiblement vraie; mais il n'en était pas de même des grains correspondant aux maxima. On

peut s'en assurer par le calcul : en effet, avec leur volume, ces grains, s'ils avaient été cubiques, auraient eu leurs côtés plus grands que le côté du carré inscrit dans le cercle des trous, et, cela étant, ils n'auraient pas pu passer par ces trous. Donc, de ce que nos plus gros grains de galène ont passé, on est en droit de conclure qu'ils étaient nécessairement de formes allongées, et que c'est en présentant aux trous leur plus petite section qu'ils ont traversé le crible. Par analogie, on peut admettre qu'il a dû en être, à plus forte raison, de même des grains de houille et de quartz corrrespondant aux maxima de ces espèces, car ces grains étaient plus allongés encore que les plus gros grains de galène, tout en ayant une section transversale peu différente.

Plus grande section transversale des sables passant par cribles à trous ronds.

Je regarde donc comme établi par ce qui précède que la moitié de l'ouverture des trous représente fort approximativement la plus grande section des sables qui, dans un travail en grand, peuvent passer à travers des trous ronds de cribles, aussi rapprochés que possible, et manœuvrés avec tous les soins nécessaires pour assurer le classement le plus parfait.

Plus grand volume des grenailles passant à travers cribles à mailles carrées.

Les grenailles (bien que classées au moyen des cribles à mailles carrées, et d'une manière assez grossière en apparence, par suite de la grande différence de calibre qui existait entre deux numéros consécutifs) ont donné le même résultat que les sables. En représentant par 100 le volume de la sphère strictement capable de passer à travers les mailles carrées du crible que chaque classe avait traversé, j'ai trouvé que le volume moyen des plus gros grains de nos quatre classes de grenailles a varié de 75 à 107 pour la galène, de 100

à 140 pour la houille, et de 130 à 200 pour le quartz. Ces variations avaient lieu sans ordre concordant avec celui des classes. On voit que le volume des plus gros grains qui traversent les cribles à mailles carrées dépasse de beaucoup le volume trouvé pour les trous ronds : on devait s'y attendre, puisque les grains minéraux ne sont pas sphériques et que les angles des trous carrés laissent au passage des fragments anguleux une place qui manque dans les trous ronds.

Dans nos expériences sur les grenailles, les fragments étaient nettement discernables, et il était évident que de tous les gros grains ceux-là seuls n'étaient pas très-sensiblement allongés, qui correspondaient au chiffre 75 : pour la galène ils étaient à peu près cubiques, et la section transversale des grains les plus gros était tout au plus égale à celle de ces cubes. J'en conclurai, de même que pour les sables, que les plus gros grains passent dans le sens de leur longueur. Cela étant, il s'ensuit que la plus grande section transversale des grains capables de passer en grand à travers des mailles carrées est encore la moitié environ de l'ouverture des mailles.

Plus grande section transversale des grenailles ou sables passant à travers un crible quelconque à mailles carrées ou à trous ronds.

Ainsi, pour les *trous* ronds comme pour les mailles carrées, avec cribles successifs très-rapprochés comme avec cribles de calibres fort différents d'un numéro au suivant, la présence simultanée de la foule des grains inégaux de calibre et de forme qui se présentent à la fois à un même trou, empêche de passer tous ceux dont la section transversale dépasse la moitié de l'ouverture de ce trou. Nous verrons même plus loin que ce n'est qu'une très-petite partie des grains de ce calibre qui parviennent à passer, malgré toutes

les précautions prises dans les expériences qui ont donné lieu aux résultats précédents.

Maintenant que nous connaissons approximativement le calibre des plus gros grains appartenant à chaque classe, il importe de connaître également le calibre des plus petits. Pour y parvenir, j'ai pesé chacun des derniers groupes de chacune de nos classes et compté le nombre de grains dont ils se composaient : j'ai pu ainsi déterminer le volume moyen des grains appartenant à ces derniers groupes, de la même manière que j'avais fait pour les plus gros. Il a paru commode d'exprimer en fonction du volume moyen de ceux-ci le volume des plus petits.

Plus petit volume restant des sables sur cribles à trous ronds.

En opérant d'abord sur les sables, j'ai trouvé, pour la galène à clivage cubique médiocrement net, que le rapport du volume moyen d'un gros grain au volume moyen d'un petit variait de 4 à 1 moyennement pour les différentes classes.

Pour de la houille grosse, à clivage rhomboédrique *imparfait*, le rapport a varié moyennement de 6 à 1.

Enfin pour du quartz rubané à cassure inégale et esquilleuse, le rapport, plus élevé encore, a varié moyennement de plus de 20 à 1. Comme précédemment, les variations observées semblaient être indépendantes de l'ordre des classes.

Importance relative des groupes extrêmes triés dans une même classe.

Si les différentes classes ne présentaient pas le même rapport pour une même substance, cela paraissait dépendre essentiellement des quantités relatives prises dans chaque classe pour former chacun des lots extrêmes. Plus ces lots sont petits relativement à la masse totale de la classe d'où on les a tirés, plus ils diffèrent

par le volume moyen des grains qui les composent. Ainsi lorsque sur 10.000 grains de galène, par exemple, on triait des quantités de gros grains et de petits grains, en nombre égal de part et d'autre, et formant un poids total représenté par les nombres de la première colonne ci-jointe, les nombres correspondants de la seconde colonne exprimaient le rapport du poids moyen d'un gros grains au poids moyen d'un petit.

800	1,40
750	1,70
170	2,30
85	2,50
10	3,50

De ce tableau on est fondé à induire que, pour la galène du moins et pour des criblages aussi minutieusement faits que les nôtres, les lots extrêmes résultant du triage de nos différentes classes ne représentaient guère que 0,001 au plus de la quantité totale de sable appartenant à une même classe. Sans doute cette proportion est minime, mais il faut considérer qu'en grand elle se trouverait considérablement grossie par l'imperfection nécessairement plus grande du travail (1) et que, d'ailleurs, fût-elle encore aussi faible, elle serait fort loin d'être négligeable pour les métaux fins. Il n'était donc pas inutile de pousser nos recherches jusqu'à cette limite. Mais on voit en même temps

(1) La note de la page 410 montrera qu'en grand ce n'est plus par millièmes, mais bien par centièmes et même par dixièmes, qu'il faut compter la somme des grains qui représentent les plus gros et les plus petits d'une même classe.

à quel degré la moitié de l'ouverture des trous de cribles est un maximum pour la mesure de la section des plus gros grains capables d'y passer. Sur 1000 grains, 999 au moins peuvent avoir une section plus faible encore. De même pour les *plus petits* grains, 999 sur 1000 ont une section *plus* grande que celle qui se déduirait des rapports établis ci-dessus, et c'est entre ces deux limites extrêmes que se trouve comprise la majeure partie des grains formant une même classe.

Plus petite section transversale des grains de sables restant sur cribles à trous ronds.

Si les grains qui composent les groupes extrêmes étaient semblables, il résulterait de tout ce qui précède que la plus petite section des plus petits grains traversant un crible à trous ronds serait, pour la galène, de 1/5 environ de l'ouverture des *trous ronds* par lesquels ils passent; de 1/6 pour *la houille* et de 1/13 pour le quartz.

Or, une grossière similitude semble admissible pour les grains dont nos groupes extrêmes étaient formés. En effet, si les grains inégaux en volume qui composaient nos lots extrême étaient de *formes semblables*, les diamètres moyens correspondants devraient être proportionnels aux racines cubiques des poids que nous avons trouvés, et il résulterait des rapports constatés ci-dessus qu'une même classe de produits criblés avec le plus grand soin devrait comprendre des grains extrêmes dont les diamètres moyens seraient entre eux dans le rapport de 16 à 10 moyennement pour la galène, de 18 à 10 pour la houille et de 28 à 10 pour le quartz. C'est précisément ce qui a lieu, du moins pour la houille, le seul des trois minéraux que j'aie soumis à cette vérification.

Pour mesurer le diamètre moyen des grains

extrêmes de chaque classe, j'ai agité une cinquantaine de grains de houille de chacun des groupes extrêmes dans le pli d'un papier jusqu'à ce qu'ils se soient librement rangés à la file l'un de l'autre et en contact. Le rapport que j'ai obtenu ainsi entre les calibres moyens propres aux deux groupes extrêmes de chaque classe a varié pour les différentes classes de 15/10 à 18/10.

Eu égard au peu de précision que comportait le seul moyen positif d'appréciation dont je disposais, le chiffre trouvé par expériences ne diffère pas, à bien dire, du chiffre moyen auquel conduit l'hypothèse de la similitude de formes. De sorte que, pour la houille, il semble permis de supposer que les différences de calibre signalées entre les grains d'une même classe sont dues moins à des différences de formes qu'à une imperfection essentielle du moyen de classement.

Pour le *quartz*, plus irrégulier de forme et moins nettement discernable, la même vérification n'était guère faisable, mais l'aspect général des parcelles appartenant aux groupes extrêmes d'une même classe autorisait pleinement à leur appliquer la même conclusion.

Variations de calibre.

Je regarderai donc comme admissible pour les sables qu'une même classe comporte des différences de calibre qui varient avec la nature des minéraux et dont les limites peuvent être considérées comme comprises entre 150/100 et 300/100.

Plus petit volume des grenailles restant sur cribles à mailles carrées.

Si l'on passe des sables aux grenailles, on arrive, par le calcul, aux mêmes résultats que l'œil peut alors vérifier sans réplique : mais de plus, chose singulière, malgré la moindre précision et le moindre rapprochement des cribles employés, les rapports

entre les calibres des grains appartenant aux groupes extrêmes sont les mêmes que pour les sables. Ainsi sur quatre classes trois ont donné pour rapport du poids moyen des plus gros grains à celui des plus petits, de 35/10 à 50/10 relativement à la galène, de 48/10 à 75/10 relativement à la houille, et de 104/10 à 163/10 pour le quartz. Seule, la dernière substance offre une différence notable entre les observations faites sur les cribles à trous ronds et celles qui s'appliquent aux mailles carrées; encore le terme 163/10 est-il commun aux deux sortes de cribles. Seulement il arrive que la limite inférieure trouvée pour les trous ronds est précisément la limite supérieure observée pour les trous carrés. Cette circonstance est facile à expliquer : on a vu plus haut que les différences entre le calibre moyen des grains appartenant aux groupes extrêmes étaient d'autant plus prononcées que ces groupes se composaient d'une plus petite fraction du lot total. Or, dans nos essais relatifs aux différentes classes, j'ai opéré sur un volume de matière sensiblement égal pour les sables et pour les grenailles, le nombre de grains correspondant à chacune des classes s'est donc trouvé beaucoup plus grand pour les sables que pour les grenailles, et d'autant plus grand que celles-ci étaient plus grosses; au contraire, pour former les groupes extrêmes triés dans chaque classe, j'ai pris un nombre de grains à peu près égal de part et d'autre. Il est résulté de là que, pour les grenailles, les lots extrêmes représentaient des fractions du total beaucoup plus grandes que pour les sables. Par conséquent on pouvait s'attendre à ce que nous venons de reconnaître, savoir : à une moindre différence entre le volume moyen des

fragments appartenant aux groupes extrêmes des classes de cet ordre.

Cette anomalie est uniquement le fait de la manière dont nos expériences ont été établies; il y a tout lieu de croire qu'en grand elle disparaîtrait et que les résultats trouvés pour le quarz à l'état de sable se reproduiraient pour les grenailles (1).

Plus petite section des grenailles ou des sables restant sur cribles à trous ronds ou à mailles carrées.

La deuxième classe de nos diverses grenailles ne satisfait nullement à la loi déduite des trois autres et vérifiée par les chiffres relatifs aux sables. On verra plus loin à quoi tient cette autre anomalie. Mais dès maintenant nous sommes en droit de conclure définitivement que pour des trous ronds aussi bien que pour des mailles carrées, avec des cribles fort différents d'un numéro au numéro suivant, non moins qu'avec des cribles excessivement rapprochés, il reste toujours sur un crible donné des grains qui refusent de passer,

(1) De plus, ces résultats, loin de devoir être considérés comme des maxima applicables à des proportions de matières négligeables, sont au contraire des minima qui, dans la pratique courante, se rapportent à des proportions fort importantes. Ainsi, sur des échantillons qui m'ont été remis par M. Bérard, constructeur d'une nouvelle machine à préparer la houille, échantillons que j'ai vu prendre moi-même dans l'appareil établi à Bruxelles, j'ai trouvé entre les plus gros grains et les plus petits d'une même classe (après lavage, il est vrai) des différences en poids qui ont varié avec les différentes classes de 50/10 à 120/10 pour la houille de Lagrappe. Les grains composant les lots extrêmes de chaque classe qui ont présenté ces différences avaient été choisis de manière à réunir dans la même catégorie tous ceux qui paraissaient sensiblement égaux; ils formaient un total variable de 4 1/2 à 30 p. 100 de l'ensemble de l'échantillon. On ne saurait objecter que les petits grains de chaque classe avaient dû

bien que leur section transversale ne soit, pour certains quartz, que le 1/13 seulement de l'ouverture des trous ou des mailles de ce crible. La petitesse relative des plus petits grains n'est pas constamment aussi extrême : elle varie avec les différents minéraux, probablement en raison de leur structure, mais la section des plus petits grains ne paraît jamais être supérieure à 1/6 ou à 1/5 au plus de la section des plus grands. C'est du moins ce qui résulte pour la houille et pour la galène des données que nous avons déduites des sables et que l'examen des grenailles a confirmées.

Section moyenne des grenailles ou des sables appartenant à une même classe.

La section moyenne des grenailles et des sables appartenant aux différentes classes des trois minéraux qui ont été l'objet de nos expériences, est nécessairement comprise entre la section des plus gros grains et celle des plus petits, c'est-à-dire entre la moitié de l'ouverture des trous ou des mailles et chacune des trois fractions 1/3, 1/6 et

---

être produits postérieurement au lavage, car le schiste séparé de la houille présentait, dans les mêmes circonstances, des résultats analogues, savoir des différences qui ont varié de 80/10 à 130/10, pour des quantités de gros grains et de petits égales, en somme, à 1/7 du total moyennement. Les différences entre le volume des plus gros grains et celui des plus petits ont même été de 170/10 et jusqu'à 270/10, quand on n'a considéré que les grains extrêmes, lesquels n'en représentaient pas moins encore plus de 0,02 du total. Or dans ces différents cas la forme arrondie des fragments de ce schiste roulé pendant le travail des cribles à piston témoignait que ces petits galets n'avaient pas été brisés pendant le transport. L'appareil Bérard opère le classement à sec sur des cribles en tôle plane percée de trous ronds : il produit cinq classes de grenailles ou de sables à partir du calibre de $0^m,025$ environ, jusqu'à celui de $0^m,001$.

1/5 que nous venons d'établir. Or, les moyennes entre 1/2 et 1/3, 1/2 et 1/6, 1/2 et 1/5 sont 10/35, 10/30 et 10/28, et comme j'ai reconnu à l'œil que la masse des grains appartenant à une même classe peut être considérée comme sensiblement uniforme et d'un calibre aussi éloigné de celui des plus gros grains que de celui des plus petits, on est en droit de conclure de nos observations sur des minéraux aussi différents par leur structure que la galène, la houille et le quartz, que la section moyenne des grains qui passent ensemble à travers les ouvertures d'un crible est généralement égale au tiers au plus de ces ouvertures.

Influence de l'eau sur les résultats du criblage.

Les différents résultats auxquels nous sommes arrivés sont déduits d'observations faites sur des matières parfaitement séchées qui avaient été criblées à sec. Quand on opère dans l'eau, on remarque que les gros grains de chaque classe sont visiblement plus allongés pour une même substance que les gros grains correspondant à la même classe préparée à sec.

Plus les matières, par suite de leur structure, ont de tendance à se diviser en parcelles allongées, plus cet effet du criblage à l'eau est prononcé, plus il met de différence entre le poids moyen des plus gros grains obtenus d'un même crible dans l'eau ou dans l'air. Pour de la houille de Newcastle, par exemple, que nous avons soumise à une expérience spéciale à ce sujet, on a obtenu à l'eau des grains dont le poids moyen était plus grand de 1/3 que le poids moyen des grains de même ordre obtenus à sec avec les mêmes cribles. Cette influence se fait sentir sur la totalité des produits, de sorte que, par rapport au poids moyen des grains, l'intervention de l'eau

équivaut à peu près à l'emploi de cribles d'un numéro plus élevé.

La différence entre les grains extrêmes subsiste d'ailleurs tout aussi grande pour le criblage à l'eau que pour le criblage à sec; cette différence a même été sensiblement plus grande à l'eau, dans nos essais.

Ce qui est vrai pour une même substance se reproduirait à plus forte raison pour plusieurs substances de structures différentes que l'on criblerait ensemble; il est donc probable que, relativement à l'égalité des grains, le criblage à l'eau est encore un peu plus imparfait que le criblage à sec, du moins lorsqu'on effectue le criblage à l'eau à la manière ordinaire, c'est-à-dire en entassant à la fois sur le crible une quantité de matières toujours trop grande pour un bon classement. Mais lors même que ce petit désavantage serait bien établi, le criblage ordinaire à l'eau le rachèterait amplement par deux circonstances précieuses : il exige moitié moins de temps que le criblage ordinaire à sec et il expose moins les matières métalliques friables à se réduire en farine au milieu de frottements prolongés. D'ailleurs, sans l'intervention de l'eau, le criblage des matières incomplétement sèches serait des plus grossiers; ces matières resteraient en majeure partie confusément agglomérées et présenteraient ainsi, pour une même classe, des différences de calibre bien autrement grandes que celles qui viennent d'être signalées. Or les mines métalliques les plus sèches produisent des minerais humides et la dessiccation, si on voulait l'opérer, serait ou trop incomplète ou trop dispendieuse. C'est pourquoi le criblage à l'eau est communément employé pour

le classement des minerais métalliques, surtout pour les parties fines (1). Une manière d'être et une destination différentes font agir autrement pour la houille.

L'influence de l'eau sur les résultats du criblage m'a paru d'autant plus prononcée qu'on opérait sur de moindres quantités de matières. Cette influence paraît consister en général dans une plus grande liberté laissée à chaque grain, et particulièrement dans une facilité plus grande offerte aux grains allongés pour se présenter aux ouvertures des cribles dans le sens de leur grand axe.

Résumé relatif à l'influence des différents éléments que nous avons considérés sur les variations des temps de chute propres aux grains d'une même classe.

Les recherches dont les pages précédentes sont le résumé avaient pour objet de reconnaître les limites entre lesquelles peuvent varier les principaux éléments qui influent sur la manière dont les minerais bruts classés avec le plus grand soin doivent se comporter au milieu de l'eau. Ces limites ont été successivement établies. Nous avons montré qu'elles étaient comprises entre 75/100 et 100/100 pour la densité, entre 150/100 et 300/100 pour le calibre, et que, pour la forme, elles étaient telles que des différences de 150 à 100 et même de 200 à 100 entre les temps de chute de la même substance au milieu de l'eau semblaient pouvoir être attribuées à l'influence exclusive de cet élément.

Au moyen de la formule posée au commencement de ce mémoire et de la vérification que nous

(1) Dans le travail des cylindres broyeurs l'eau serait un embarras, aussi crible-t-on à sec. On rachète l'inconvénient de cette dispositon en en profitant pour substitues au crible ordinaire le trommel qui est beaucoup plus expéditif.

en avons faite, il est possible de traduire aussi l'influence de la densité et du calibre en différences entre les temps de chute. On trouve ainsi que dans la précipitation d'une même classe de grenaille ou de sable le calibre doit donner lieu à des différences entre les temps de chute variables avec la nature des substances et comprises entre 125/100 et 175/100 : pour la densité ces différences moins variables sont comprises entre 75/100 et 100/100.

Or nous avons vu d'autre part que pour les minéraux différents qu'on a communément à séparer dans les préparations mécaniques, le jeu des pesanteurs spécifiques ne comporte guère qu'une différence de 150/100 ou tout au plus de 200/100 entre les temps de chute dans l'eau; on voit donc nettement que l'influence simultanée des trois variables dont il vient d'être question pourrait paralyser entièrement l'effet des différences de densités les plus grandes. C'est la forme qui paraît être plus particulièrement capable de mettre obstacle à la préparation des minerais par voie de précipitation. et cet obstacle est d'autant plus redoutable que la forme aplatie est fréquente pour les minerais de plomb et d'or les plus répandus, lesquels se présentent habituellement en paillettes ou lamelles lorsqu'ils sont à l'état de sables.

La forme allongée peut être un inconvénient non moins grand pour les minerais d'antimoine, et comme la structure de cette substance n'offre pas les ressources de la forme aplatie qu'on a utilisées pour la galène et l'or, on a peut-être dans cette circonstance l'explication de ce fait singulier que les minerais bruts d'antimoine sont plus volontiers traités par le feu et soumis à la liquation

pour séparer le sulfure métallique de sa gangue, que préparés à l'eau à la manière ordinaire.

Il est évident d'ailleurs que les différentes actions perturbatrices dont nous avons donné la mesure peuvent agir simultanément dans le même sens, car cette simultanéité fort concevable d'ailleurs, est nécessaire pour rendre compte des variations de 1 à 2, et surtout des variations de 1 à 3 que présentent les temps de chute inscrits sur les tableaux nos III et IV. On peut s'assurer, en effet, que pour réaliser une aussi grande différence, il faut le concours des plus grandes différences attribuables à la forme, au calibre et à la densité. Or, si pour une même substance la simultanéité de ces différentes actions se manifeste si évidemment, à plus forte raison peut-il en être ainsi pour des substances différentes qui se précipiteraient ensemble au milieu de l'eau; car plus les matières qui se précipitent ensemble seront de nature variée, plus elles auront chance de réunir à un haut degré les plus grandes différences possibles entre les éléments influents.

Influence de la structure des minéraux sur les différences dans les temps de chute auxquelles les grains d'une même classe sont sujets.

Précédemment nous avons eu occasion de remarquer que l'amplitude des variations que le calibre comporte pour une même substance était en relation avec la nature des minéraux mis en expérience; il importe maintenant de rechercher ce que devient cette relation par rapport aux temps de chute.

Or si l'on considère d'abord les sables proprement dits, c'est-à-dire les quatre premières classes du tableau n° IV, qui est à la fois le plus étendu et le plus digne de confiance, et si, prenant pour chacune des classes le rapport entre le maximum et le minimum de durée du temps de chute, on

réunit en une seule moyenne les quatre résultats propres aux quatre classes d'une même substance, on trouve :

Pour la pyrite.	144/100
Galène.	155/100
Blende.	182/100
Baryte sulfatée. . . .	182/100
Chaux carbonatée. .	186/100
Plombagine.	220/100
Houille.	230/100
Quartz.	280/100

Le tableau n° III, lorsqu'on en écarte la seconde classe (qui fait exception, comme on l'a déjà vu), ce tableau donne pour les grenailles des résultats peu différents de ceux qui précèdent, savoir :

Pour la galène.	130/100
Houille.	178/100
Quartz.	260/100 (1)

C'est la houille qui présente la différence la plus sérieuse ; mais cette différence, qui se trouve d'ailleurs un peu exagérée par une cause accidentelle, *sera facilement* expliquée.

On remarque que les différences applicables aux grenailles sont généralement inférieures à celles qui ont été trouvées pour les sables. Le contraire aurait lieu si l'on comparait les sables non plus à des matières de plus gros calibre, mais à des sables plus fins. Ainsi pour la galène, par exemple,

(1) Pour le quartz, j'ai cru devoir éliminer la forme excessivement aplatie de trois parcelles appartenant au dernier groupe de la quatrième classe ; pour cela j'ai combiné le chiffre propre à ces parcelles avec le chiffre relatif à l'avant-dernier groupe de la même classe.

si on la divise en quatre classes : 1° les grenailles comprenant les trois classes du tableau n° III; 2° les gros sables composés des trois premières classes du tableau n° IV; 3° les sables fins comprenant les deux classes suivantes; et 4° les poussières formées des deux dernières classes du même tableau n° IV, on a pour ces différentes sortes, entre les temps de chute correspondant aux groupes extrêmes de chaque classe, les rapports suivants :

Pour	grenailles.	130/100
	Gros sables. . . .	150/100
	Sables fins.	180/100
	Poussières.	250/100

C'est-à-dire que, pour notre galène au moins, plus la division est poussée loin, plus la différence devient grande entre les temps de chutn propres aux groupes extrêmes. Cette différenee devient telle pour les poussières qu'elle dépasse de beaucoup celle qui pourrait résulter, entre le quartz ou la chaux carbonatée et la galène, de l'influence des densités relatives de ces minéraux.

Relation entre la structure des minéraux et l'étendue des variations auxquelles les temps de chute sont sujets.

Sans nous arrêter pour le moment aux conséquences pratiques des différents faits qui viennent d'être rapportés, il convient de faire remarquer qu'ils sont tous du même ordre et de nature à pouvoir être exprimés par une même formule, à savoir que plus la forme des grains est concentrée, moins la substance offre de différence entre les temps de chute propres aux groupes extrêmes d'une même classe. En effet, à calibre égal, on voit figurer en tête de la série des rapports ci-dessus mentionnés, la pyrite cubique, substance non clivable qui, sous l'action du pilon, se divise en fragments arrondis; puis la galène, substance

éminemment clivable au contraire, en trois sens, ce qui fait qu'elle se divise habituellement en prismes rectangulaires droits, plus ou moins surbaissés; viennent ensuite, à peu près *ex æquo*, la blende, la baryte sulfatée et la chaux carbonatée, minéraux lamellaires à fragments rhomboédriques ou approchant de cette forme. La houille à l'état de grenailles affecte une forme pseudo-rhomboédrique qui a déjà été signalée; or il arrive que le rapport entre les temps de chute propres aux groupes extrêmes d'une même classe de cette substance, lorsqu'elle est à cet état de grosseur, lui assigne précisément son rang à côté des minéraux à fragments rhomboédriques, et même en tête de ceux-là; ce qui n'est pas surprenant, puisque la houille qui n'est pas lamellaire donne des fragments rhomboédriques généralement plus épais relativement à la largeur que les minéraux lamellaires proprement dits. La houille à l'état de sable occupe dans notre série un rang bien inférieur à celui qui revient à la même substance lorsqu'elle est à l'état de grenailles : c'est qu'en effet, à l'état de sable, la forme des fragments de houille est bien moins concentrée, la forme pseudo-rhomboédrique a disparu, et les fragments ne sont plus que des éclats anguleux à cassure conchoïdale, plus ou moins plats ou allongés. Enfin, le quartz rubané occupe à bon droit le dernier rang de la série; car à l'état de grenaille comme à l'état de sable, ses fragments se présentaient sous forme d'écailles ou d'aiguilles, qui en faisaient évidemment le moins concentré de tous les solides soumis à nos expériences.

Il est bon de faire remarquer en passant que cette forme des fragments de notre quartz n'était

pas exclusivement en rapport avec la nature de la substance, mais en même temps avec la manière dont le broyage avait été conduit. Ce broyage avait été fait dans un mortier et à sec. Bocardés à la bonde, ces mêmes quartz auraient pu sortir en grains plus ou moins arrondis, et auraient ainsi donné lieu à des nombres tout différents; au contraire, bocardés à grande eau sur sole en fonte, avec large issue ménagée aux grenailles, ils auraient probablement ressemblé davantage aux fragments et parcelles soumis à nos expériences. Les cylindres broyeurs auraient sans doute, à plus forte raison, donné des résultats comparables aux nôtres.

Pour ce qui est de la galène, quel que soit le mode de broyage adopté, il arrive toujours, lorsqu'elle est clivable, que plus on la divise plus elle tend à la forme de lamelle et de paillette, qui se montre dans les poussières à l'exclusion des formes plus ou moins rapprochées du cube, tandis que ces dernières formes dominent dans les gros sables et dans les grenailles. Il n'est donc pas étonnant de voir le minerai de plomb se comporter si différemment à l'état de grenailles et à l'état de poussières, et rendre ce dernier état si préjudiciable à la netteté de la préparation.

Ainsi se trouve pleinement justifié ce qui a été dit ci-dessus, à savoir que plus la forme des sables ou grenailles d'une substance est concentrée, moins cette substance offre de différences entre les temps de chute propres aux groupes extrêmes d'une même classe.

Cette loi pouvait être prévue, car nous avons reconnu, d'une part, que les substances dont les parcelles affectent des formes allongées ou aplaties

sont celles qui donnent lieu aux plus grandes différences de calibre dans une même classe; de l'autre, que l'aplatissement et l'allongement des formes et leur disposition anguleuse suffisaient pour donner lieu à des ralentissements considérables dans la chute des corps au milieu de l'eau : on pouvait en conclure que les corps sujets à présenter parmi leurs fragments des parties écailleuses ou esquilleuses étaient ceux qui devaient donner les plus grandes différences entre le maximum et le minimum des temps de chute propres à une même classe, puisque ces corps réunissent les plus grandes différences possibles de calibre aux formes qui par elles-mêmes sont cause de la plus grande résistance au mouvement dans l'eau. Au contraire, les substances qui se divisent en fragments polyédriques approximativement réguliers, ayant des dimensions peu différentes dans tous les sens, devaient présenter pour cela même les moindres différences entre les temps de chute propres à une même classe : d'une part, en raison de la moindre variation de calibre à laquelle ces substances sont sujettes; de l'autre, parce que par elles-mêmes ces formes sont éminemment favorables à une précipitation rapide.

Les substances lamellaires placées par leur structure entre ces deux cas extrêmes devaient naturellement donner des résultats intermédiaires.

Je crois donc pouvoir regarder comme démontrée d'une manière générale que (sauf le cas de broyage inconsidérément fait qui arrondirait toutes les matières dures en réduisant en farine les matières friables) la structure des minéraux a une influence considérable, tant sur la netteté des classements opérés par criblages successifs, que sur

Variations des temps de chute en raison de la structure.

l'intervalle plus ou moins grand entre les temps de chute propres à une même classe pour une même substance.

Il s'ensuit que cette influence est toute-puissante sur la possibilité de séparer différents minéraux par voie de précipitation libre.

La mesure de cette influence semble pouvoir être représentée approximativement par les chiffres suivants :

1° Pour les minéraux de nature à se diviser en grains grossièrement arrondis ou approximativement cubiques, comme la plupart des pyrites et certaines galènes, les plus grandes différences entre les temps de chute des grenailles ou des sables appartenant à une même classe, sont comprises entre 125/100 et 180/100. C'est moyennement 150/100 environ. Rapport qui conviendrait probablement au quartz lui-même, si l'on avait eu le tort de le soumettre à un broyage trop prolongé.

2° Pour les minéraux de nature à se diviser en parcelles allongées, comme les matières fibreuses, ou en écailles de forme irrégulière, comme certain quartz, ou encore pour les minéraux de nasure à se présenter sous forme de lamelles, comme l'or en paillettes ou la galène à l'état de poussière, cette différence varie de 250/100 à 300/100 et au delà : elle est moyennement de 270/100 environ.

3° Les minéraux lamellaires à clivage rhomboédrique ou à division approximativement rhomboédrique, tels que la baryte sulfatée, la chaux carbonatée, la blende lamellaire, certaines houilhouilles, etc., se rapprochent des conditions propres à la galène, et donnent des différences comprises entre 150/100 et 225/100 : la moyenne est 180/100 environ.

4° Enfin les minéraux de nature schisteuse, tels que certaines plombagines et certaines houilles se rapprochant davantage, au contraire, des conditions propres à notre quartz rubané, les différences auxquelles ces minéraux sont sujets varient de 175/100 à 275/000, et semblent pouvoir être représentées moyennement par 225/100 (1).

Au moyen de ces notions générales, une substance minérale quelconque étant donnée, il serait possible de juger, d'après la structure de ses fragments, à laquelle des quatre catégories précédentes elle doit être rapportée, et les nombres qui viennent d'être établis donneraient approximativement la mesure des variations que cette substance peut présenter entre les temps de chute propres aux différents grains d'une même classe.

Coefficients nécessaires pour compléter la formule.

Ces nombres peuvent donc être considérés comme des coefficients capables de caractériser les circonstances de forme et de calibre qui sont propres aux différentes substances minérales, et sur

(1) *Les schistes* houillers retirés des cribles à piston de l'apareil Bérard ne présentaient moyennement qu'une différence de 135 à 100 entre les temps de chute pour des différences de 100 à 10 entre les poids des grains extrêmes d'une même classe; mais les frottements prolongés auxquels les résidus schisteux restent exposés dans cet appareil, en font de véritables galets, aplatis il est vrai, mais qui n'en doivent pas moins participer aux propriétés des corps arrondis en général, lesquels, ainsi que nous l'avons déjà constaté, ont toujours sur les autres formes un avantage marqué dans leur chute au milieu de l'eau. Sans cette cause particulière de précipitation rapide, ces schistes auraient probablement donné lieu à des différences dans les temps de chute qui seraient rentrées dans la catégorie des différences propres aux substances lamellaires.

lesquelles on opère dans les préparations mécaniques, lorsque ces substances sont convenablement traitées.

Ce sont ces coefficients qu'il faudrait introduire sous forme convenable dans la formule générale donnée au commencement de ce mémoire pour la rendre applicable aux formes irrégulières des substances minérales. Mais la formule ainsi complétée ne serait encore que d'un bien faible secours pour la pratique, car non-seulement ces coefficients ne sont pas établis avec un degré de précision très-grand, mais il peut se faire qu'ils ne puissent pas l'être. En effet, ces coefficients paraissent devoir varier non-seulement avec la nature des substances, mais encore avec leur état de division, ainsi que nous l'avons déjà vu pour la galène et pour la houille, et ces variations sont loin d'être assujetties à un ordre régulier pour les différents minéraux. Ainsi, tandis qu'elles se manifestent à la suite de la première classe de notre tableau n° IV pour la blende et la chaux carbonatée, ce n'est qu'après la seconde que le changement de loi a lieu pour la baryte sulfatée, la houille et la plombagine, et seulement après le troisième pour la galène et la pyrite.

Il n'est pas probable que ce même ordre persiste invariablement pour toutes les substances de même nom ; il doit dépendre essentiellement de la constitution minéralogique des minéraux, notamment de leur ténacité, et l'on sait combien cet élément est variable de sa nature. Entre la galène à facettes de plusieurs centimètres carrés jusqu'à la galène à grains d'acier, combien n'y a-t-il pas de variétés sous ce rapport, même en ne tenant compte que des variétés franchement cris-

tallines? Ce qui est vrai pour la galène ne l'est pas moins pour les autres substances, qui peuvent non-seulement se trouver compactes, fibreuses ou lamellaires, mais réunir dans le même minerai, et même dans le même morceau, ces différentes manières d'être avec des degrés de ténacité différents, et, par suite, échapper à toute loi déduite de circonstances irréalisables, à bien dire, dans la pratique. Ce qui rend surtout ces circonstances irréalisables, c'est que, opérant sur chaque substance séparément et les broyant à la main, nous avons pu soumettre chacune d'elles à des chocs proportionnés en quelque sorte à sa ténacité. Comment pourrait-on prendre des soins pareils pour un minerai composé de substances différentes inégalement tenaces?

Je ne pense donc pas que nos données puissent conduire à une formule applicable à la pratique des ateliers; je crois d'ailleurs que malgré leur défaut de précision, si on les complétait au moyen de quelques additions relatives aux structures *fibreuses*, aux structures confusément cristallines, aux substances compactes et aux différentes substances considérées après avoir été arrondies par roulage, nos tableaux n°s III et IV donneraient des indications plus précises et plus facilement applicables que la formule la plus étudiée.

C'est donc de ces tableaux que je déduirai directement la réponse à la question posée en tête de ce mémoire : quel parti peut-on tirer de la précipitation libre au milieu de l'eau pour la préparation mécanique des minerais?

(*La suite à la prochaine livraison.*)

ANALYSE ET DISCUSSION

DES NOUVELLES EXPÉRIENCES FAITES, PRINCIPALEMENT EN ANGLETERRE,

SUR LA

RÉSISTANCE DE LA FONTE, DU FER

ET DE QUELQUES AUTRES MATÉRIAUX.

Par M. COUCHE.

Ingénieur des mines, professeur à l'École des mines.

On sait combien l'Angleterre nous a devancés dans l'application du fer et de la fonte aux constructions. Il y a trente-deux ans que John Rennie dotait Londres du magnifique pont de Southwark, *non moins remarquable*, non moins hardi que le viaduc en cours d'exécution sur le Rhône à Beaucaire; et chaque jour les grands travaux dont se couvre, comme par enchantement, cette terre industrieuse, ouvrent aux usines à fer de plus larges débouchés.

Deux travaux hors ligne, si heureusement accomplis depuis peu par M. Stephenson, les ponts tubulaires de Britannia et de Conway, ont surtout excité parmi les ingénieurs un vif et légitime intérêt, et dans le public une admiration qu'il accorde rarement aux œuvres utiles. La hardiesse et la simplicité de la conception, la puissance et l'efficacité des moyens mis en œuvre pour le levage,

la rapidité de l'exécution, la sûreté du coup d'œil qui a présidé à l'ensemble et aux détails, tout, en un mot, est remarquable dans ces gigantesques constructions : leur principe peut être discuté, attaqué même, mais elles portent au plus haut degré le cachet de la froide décision qui caractérise le génie anglais, et qui triomphe de tous les obstacles.

Le prix élevé du fer en France diminue, sans doute, à notre point de vue, l'intérêt que présente une application faite dans des conditions si nouvelles et sur de si vastes proportions; mais, si elle n'est pas destinée à trouver chez nous des imitateurs, elle aura cependant indirectement une utilité très-réelle et très-générale.

Avant d'arrêter définitivement les bases de son projet, M. Stephenson a voulu constater par des expériences authentiques le degré de confiance que méritent les formules théoriques et les valeurs ou les limites généralement admises pour les constantes numériques qu'elles renferment. Cette révision des éléments que les constructeurs doivent emprunter à la mécanique expérimentale, a été exécutée sur une grande échelle, et l'exactitude des résultats est garantie par les noms des expérimentateurs (1). Ce travail préliminaire accompli

(1) MM. Fairbairn et Hodgkinson peuvent réclamer une belle part, sinon dans la conception et la réalisation de l'idée fondamentale, au moins dans les recherches théoriques et pratiques qui ont vaincu toutes les défiances, fait accepter le projet, et fixé les conditions essentielles de l'exécution. Nous n'avons pas à examiner à quels titres respectifs ces habiles ingénieurs ont attaché leurs noms, après celui de Stephenson, à une œuvre destinée à faire époque dans l'histoire de l'art des constructions.

sur des proportions si larges, si inusitées, n'est pas le moindre titre de ses auteurs à la reconnaissance d'un art qui leur doit tant d'utiles travaux : la spécialité même de son but, la préoccupation constante de l'application qui a inspiré toutes les recherches, ajoutent à leur utilité pratique, sans atténuer en rien l'intérêt que présentent plusieurs d'entre elles au point de vue général et théorique ; elles nous font faire quelques pas de plus dans la connaissance des propriétés intimes de la matière, et surtout des corps qui sont sous tant de formes les principaux instruments du véritable progrès, le progrès industriel.

Tous les faits qui se rattachent à la conception du projet des ponts tubulaires, à son étude, à son exécution, ont été réunis dans un ouvrage publié sous le patronage et le contrôle de M. Stephenson par M. E. Clarke, ingénieur résident (1). L'historique du projet, des phases diverses par lesquelles il a dû passer avant d'arriver à une solution définitive, retrace dans tous ses détails un admirable spectacle : celui d'un génie persévérant et sûr de lui, luttant pied à pied contre des obstacles d'un ordre tout nouveau, dont on pouvait même à peine mesurer la portée, et remportant contre eux une victoire aussi prompte que complète.

C'est dans l'ouvrage même de M. Clarke, ou dans les extraits publiés en français, qu'il faut étudier l'histoire et la description de ces gigan-

(1) *The Britannia and Conway Tubular bridges;* by Edwin Clarke; published with the sanction and under the supervision of Robert Stephenson. 2 vol. in-8 et atlas in-folio. Londres, 1850.

tesques travaux (1) : elles se prêtent peu à l'analyse. Mon but est seulement de reproduire en partie et de discuter les résultats des expériences préliminaires. Ces expériences se divisent en deux catégories bien distinctes : les unes, faites sur des barres de fonte ou de fer, avaient pour objet la détermination de ce qu'on peut appeler les résistances élémentaires de ces matériaux ; les autres, exécutés sur des tubes en tôle rivée, de dimensions très-variées, ont conduit d'abord à la forme la plus résistante de la section transversale d'un tube posé sur des appuis ; puis, par tâtonnement, au mode de répartition du métal auquel correspond le maximum de résistance. Le but de ces expériences était donc plus spécial, et elles présentent, par suite, un intérêt moins général.

Plusieurs de ces résultats, c'est-à-dire la plupart de ceux qui sont dus à M. Hodgkinson, ont été annexés antérieurement, avec l'assentiment de M. Stephenson, à une publication officielle intitulée : *Report of the Commissioners appointed to inquire into the application of iron to the railway structure*. J'emprunterai à ce rapport lui-même (2) divers faits que M. Clarke n'a pas mentionnés ; je joindrai enfin à ce résumé quelques résultats d'expé-

(1) Toute cette partie du texte de M. Clarke vient d'être publiée en français par M. Yvert, ingénieur civil, sous ce titre : *Notice sur les ponts tubulaires en tôle*. 1 vol. et atlas in-folio.

(2) Les résultats généraux de ce travail ont été reproduits en France, dès l'année dernière, par diverses publications consacrées à l'industrie et aux chemins de fer. Ils viennent de l'être aussi par les Annales des ponts et chaussées, 2e livraison de 1851. On peut aussi consulter l'ouvrage de M. Fairbairn, intitulé : *On account of the construction of the Britannia and Conway bridges.*

riences puisés à d'autres sources, de manière à présenter autant que possible l'ensemble des observations les plus récentes sur la résistance des matériaux les plus usuels, et spécialement de la fonte et du fer.

Cette première partie traitera de la fonte; le fer sera l'objet d'un second article.

FONTE.

1° RÉSISTANCE A L'EXTENSION.

---

a. Résistance à la rupture.

TABLEAU I. — Expériences de M. Hodgkinson.

Barres à section cruciforme, de 2.580 à 2.900 millimètres quarrés.

ORIGINE DE LA FONTE.	CHARGE de rupture par millim. quarré.	OBSERVATIONS.
	kilog.	
Low-Moor n° 1	8,92	
— n° 2	10,86	
Clyde n° 1	11,33	
— n° 2	12,51	
— n° 3	16,49	
Blaenavon n° 1	9,79	
— n° 2 (1er échantillon).	11,75	
— n° 2 (2e échantillon).	10,04	
Calder n° 1	9,65	
Coltness n° 3	10,73	
Brymbo n° 1	10,14	
— n° 3	10,90	
Bowling n° 2	9,50	
Ystalfera n° 2	10,19	Fonte à l'anthracité.
Yniscedwin n° 1	9,80	*Idem.*
— n° 2	9,38	*Idem.*
Fonte de M. Morries Stirling, — dite de 2e qualité.....	18,11	
— dite de 3e qualité.....	16,49	

TABLEAU II. — Barres quarrées de 645 millimètres quarrés.

DÉSIGNATION de la fonte.	SECTION transversale des barres	CHARGE de rupture par millim. q.	ALLONGEMENT à l'instant de la rupture.	Observations.
	millim. q.	kilog.		
Low-Moor n° 2. . . .	682	11,53	$\frac{1}{553}$	(1)
Blaenavon n° 2. . . .	689	10,31	$\frac{1}{643}$	(2)
Gartsherrie n° 3 . . .	685	11,91	$\frac{1}{514}$	(3)
Fontes de Leeswood n° 3, et de Glengarnock n° 3, en proportions égales. . .	686	10,41	$\frac{1}{741}$	(4)
		11,06	Moyenne 0,00162	

(1) Moyenne de 2 expériences. — (2) *Idem*. — (3) *Id*. — (4) Moyenne de 3 expériences.

Si, comme l'indique le tableau I, la résistance des fontes à la rupture par extension varie du simple au double, et peut-être au delà, suivant leur nature, elle dépend aussi d'un autre élément dont l'influence est du même ordre de grandeur. La ténacité de la fonte diminue, en effet, très-rapidement, à partir de la surface de sorte qu'à aire égale la résistance d'une barre coulée croît avec le périmètre de cette section. Dans les grosses pièces la partie centrale, se refroidissant lentement, s'arrange en cristaux d'autant plus volumineux qu'ils sont plus éloignés de la surface, et dont l'adhérence est relativement très-faible. Plusieurs expériences faites sur des échantillons tirés de l'intérieur de masses épaisses ont, en effet, donné invariablement des résistances fort inférieures à celles des mêmes fontes coulées en

barres de faible équarrissage. L'influence de l'étendue des surfaces, très-notable pour le fer, est donc bien plus prononcée encore pour la fonte, et on ne serait nullement fondé à étendre à de grosses pièces les résultats obtenus, comme les précédents, au moyen de barres de petite section, ou pour lesquelles le rapport du périmètre à l'aire de la section est favorable à la résistance. Ce fait tend à proscrire les formes voisines du cercle ou du quarré pour les pièces d'un fort équarrissage : cette règle est depuis longtemps admise en pratique, mais à un autre point de vue, et comme conséquence générale des principes élémentaires de la théorie. Il est rare en effet que la fonte travaille uniquement par traction directe : l'extension, partielle, est due ordinairement à une flexion transversale : et les considérations bien connues qui déterminent, au moins d'une manière générale, la forme du profil en travers, conduisent naturellement à réduire les épaisseurs, à multiplier les surfaces. Nous reviendrons, du reste, bientôt sur ce point.

Un accident survenu pendant le levage du premier tronçon de 137 mètres du pont de Britannia offre un exemple frappant des dangers que présente la fonte soumise en masses volumineuses à des efforts d'extension considérables.

Ce levage, l'opération de ce genre la plus hardie et la plus gigantesque qu'un ingénieur ait jamais tentée, s'exécutait au moyen de deux presses hydrauliques : l'une, installée sur le haut de la pile élevée au milieu du détroit de Menai, sur le rocher de Britannia, était double ou à deux corps de pompe ; l'autre, celle de la pile de rive, était simple. Le piston de celle-ci avait $0^m,508$ de diamètre et $1^m,83$ de course ; le cylindre en fonte avait

$0^m,559$ de diamètre intérieur, $2^m,748$ de hauteur totale, $0,^m254$ d'épaisseur, et pesait 13.500 kilogrammes.

L'ascension du tube s'opérait avec une régularité parfaite : il s'était élevé de $7^m,30$ (environ le quart de sa course), quand soudain le fond du cylindre, pesant plus de 2.500 kilogrammes, se brisa avec un bruit terrible et tomba sur le tube, suspendu par les chaînes à près de 30 mètres plus bas, et qui, abandonné à lui-même, venait s'appuyer sur les supports de sûreté.

M. Stephenson et ses collaborateurs durent avant tout étudier les causes d'un accident dont les suites avaient failli être déplorables (1), et se mettre en garde contre son retour. Les observations faites à cette occasion se rattachent directement à notre sujet.

Le poids soulevé par le piston était 1.164.000 kilogrammes, et la section du piston 202.644 millimètres quarrés. La pression normale était donc $5^k,74$ par millimètre quarré. Pour un cylindre *indéfini* de $0^m,559$ de diamètre et $0^m,254$ d'épaisseur, l'effort d'extension correspondant par millimètre quarré de section longitudinale serait $6^k,33$; mais l'hypothèse d'une tension uniforme n'est exacte que dans le cas où l'épaisseur est très-petite relativement au diamètre. Quand elle lui est comparable, comme dans le cas actuel, la tension des couches concentriques décroît rapidement de l'intérieur vers l'extérieur, et à la limite, elles ne se rompent que successivement ;

(1) M. Clarke, placé sur la traverse soulevée par le piston, et à laquelle le tube était suspendu, n'avait échappé que par miracle aux conséquences de cette situation.

une fissure se forme à l'intérieur suivant une génératrice, et se propage graduellement jusqu'à l'extérieur. D'un autre côté, il s'agissait ici d'un cylindre fermé aux deux bouts et soumis, par suite, outre la tension dans le sens des sections normales, à une tension longitudinale; mais le fond inférieur continu, s'opposant à la dilatation de la partie inférieure du cylindre, sa présence devait améliorer, loin de les aggraver, les conditions de la résistance, au moins dans cette région.

Ce n'est pas, d'ailleurs, la tension normalement à l'axe qui a déterminé la rupture, mais la tension longitudinale, et celle-ci était seulement de $2^k,17$ par millimètre quarré de la section annulaire.

La rupture ne pouvait être attribuée à un de ces défauts cachés auxquels les grosses pièces moulées sont sujettes. Le métal était bien sain, la cassure présentait seulement cette texture à grains de plus en plus gros à partir de la surface, qui est toujours l'indice d'une ténacité très-affaiblie et qu'on avait en vain cherché à prévenir.

L'influence désastreuse d'une grande épaisseur sur la résistance moyenne entrait certainement pour une assez grande part dans la rupture produite par une tension aussi faible; mais indépendamment de la petitesse absolue de cette tension, il était évident que cette cause n'était pas la seule, et qu'une autre avait déterminé le métal à céder dans le sens du moindre effort. Cette cause était la forme vicieuse du fond du cylindre.

La première influence était attestée par des observations trop positives pour qu'on pût songer à augmenter l'épaisseur; cette augmentation eût été plutôt un danger qu'une garantie; on n'était même pas éloigné de croire que la rupture n'eût pas eu lieu avec une épaisseur notablement moindre.

Malgré la défiance que la fonte inspirait à juste titre, il fallait nécessairement en faire usage : l'emploi du fer eût présenté bien plus de garanties, mais il était impraticable pour de semblables pièces. Jamais sans doute on n'avait construit de presses destinées à exercer un effet aussi énorme (1), mais plusieurs exemples permettaient de regarder le problème comme n'étant pas insoluble. L'un des propriétaires de la fonderie de Warrington, M. Amos, s'était servi pendant plusieurs années d'une presse de 0m,457 de diamètre, dans laquelle la pression par unité de surface intérieure était égale et souvent même supérieure d'un tiers à celle qu'exigeait le levage des tubes, avec la presse de 0m,559 (2). On devait donc espérer qu'on réussirait à donner au cylindre en question tout au moins la résistance temporaire qui suffisait à sa destination. Le succès du levage du Conway, opéré également avec des presses, attestait d'ailleurs aussi que le poids soulevé dans ce cas n'était pas la limite des efforts qu'on pouvait faire supporter à des cylindres en fonte : mais il s'agissait, au pont de Britannia, d'une charge presque double (3).

---

(1) Les industries qui exigent les pressions les plus considérables, telles que la fabrication de l'huile, de la bougie stéarique, etc., emploient des presses hydrauliques dont la force, même nominale, est bien loin du chiffre de 1.160.000 kilogrammes que devait atteindre la force effective de la grande presse de Britannia. L'appareil le plus puissant admis à l'exposition de 1849 avait une force nominale de 700.000 kilogrammes seulement.

(2) Les appareils de compression sont d'ailleurs exposés à des surcroîts accidentels de pression que les soupapes de sûreté ne préviennent pas complétement. Ce danger n'existait pas ici du moins au même degré, puisqu'il s'agissait de l'élévation d'un poids.

(3) On aurait pu s'affranchir des difficultés que présen-

M. Stephenson s'attacha donc à améliorer et la qualité de la fonte et la forme du fond, en conservant d'ailleurs les mêmes épaisseurs de métal. La modification à faire subir à la forme consistait simplement dans la suppression du fond disposé presque en retour d'équerre (*Pl. XIV, fig.* 1). Cette forme n'avait pas seulement l'inconvénient d'être beaucoup trop éloignée de la figure d'équilibre, de développer dans les parties voisines de l'arête, sous l'influence de la pression intérieure, des efforts dus aux tendances discordantes à la déformation du cylindre et du fond; elle avait aussi pour effet d'aggraver l'état de tension préexistante dans lequel le métal se constituait surtout dans cette région par le refroidissement. On substitua donc au fond à très-petite flèche une calotte en forme d'ovoïde (*fig.* 2).

Quant à l'amélioration de la qualité de la fonte, on reconnut par des essais multipliés qu'on rendait son grain plus serré et sa ténacité plus grande en lui faisant subir, avant le moulage, *deux ou même* trois fusions préalables, et la coulant chaque fois en plaques; les expériences de M. Amos le conduisirent à regarder comme particulièrement propre au moulage des cylindres la

---

tait la construction de la presse unique en lui substituant une presse à deux cylindres, semblable à celle qui opérait le levage de l'autre côté; mais des objections très-graves, dont l'exposé ne serait pas à sa place ici, s'élevaient contre cette disposition. Il suffira de dire que, d'une part, il était déjà très-difficile d'obtenir le parallélisme de marche des deux presses conjuguées, et par suite l'horizontalité de leur traverse commune: et que, de l'autre, les maçonneries disposées pour recevoir la grande presse n'auraient pu, sans des modifications importantes, s'adapter à une presse double.

fonte de Blaenavon n° 1, refondue deux fois; à défaut de cette fonte, dont il n'avait pas à sa disposition une quantité suffisante, il adopta le mélange suivant :

Fonte de Blaenavon n° 3 (neuve). .	6.000 kil.
Id. *id* (vieille). .	6.000
Fonte de Pontypool.	3.000
Fonte de Glengarnock.	4.000
Vieux canons de Woolwich.	3.000
	22.000

On fondit, par mesure de précaution, un troisième cylindre semblable, sauf la courbure plus prononcée encore du fond (*fig.* 3) et formé de fonte de Blaenavon, n°s 1 et 2, ayant subi deux fusions préliminaires.

Le cylindre pesant seulement 13.500 kilogrammes, on voit que la pièce était coulée avec une énorme masselotte ; celle-ci pesait près de 7.000 kilogrammes, et on ajoutait ensuite graduellement, pendant les six heures qui suivaient la coulée, environ 3,000 kilogrammes de fonte pour compenser le retrait et maintenir le moule bien rempli.

Ces précautions ne suffisaient cependant pas toujours pour empêcher la production des soufflures. Un premier cylindre avait dû être rejeté par ce motif; en coupant la masselotte on découvrit une vaste cavité de plus d'un demi-litre, qui occupait une partie de l'épaisseur du fond, et autour de laquelle la texture de la fonte était lâche et spongieuse.

Ce cylindre avait été coulé le fond en haut. La crainte d'un défaut semblable, qui pouvait rester caché et ne se révéler que par la rupture du cylindre sous la charge, détermina à couler le suivant dans sa position naturelle. On améliorait

ainsi le grain de la fonte dans la région qu'on regardait avec raison comme prédisposée à la rupture par l'état de tension spontanée de ses molécules. C'est cependant ce cylindre qui se brisa, et vers le bas (*fig.* 1) : mais surtout, on l'a vu, par suite de sa forme vicieuse.

Mais un autre motif conduisit à renoncer, pour les deux cylindres fondus après l'accident, au moulage dans la position renversée. On avait déjà observé, pendant le levage du pont de Conway, un suintement très-prononcé de l'eau, non-seulement autour de la garniture du piston, mais aussi à travers les pores du métal. Le même fait se reproduisit, mais avec bien plus d'intensité, pour le premier cylindre de la grande presse employée au levage du *Britannia*. Dès l'épreuve préalable, dès les premiers coups de piston même, des fuites abondantes se déclarèrent, surtout vers la partie supérieure du cylindre. L'eau jaillissait principalement autour des encastrements des guides du piston. De plus, elle se frayait aussi un passage à travers le piston lui-même, qui était creux, et venait s'écouler sur la traverse de suspension.

On remédia assez bien aux fuites du cylindre en martelant sa surface intérieure, en refoulant dans les pores du métal une bouillie de farine d'avoine et de sel ammoniac, et surtout en plaçant un second cuir embouti au-dessous du premier ; on isolait ainsi la partie supérieure du cylindre qui était le principal siége des filtrations. On réussit par là à atténuer beaucoup les fuites, qui n'étaient plus excessives lorsque survint la rupture du cylindre.

Ces fuites avaient toutefois créé des difficultés assez sérieuses pour qu'on regardât comme indispensable de prévenir, dans le cylindre destiné à

remplacer le précédent, cette porosité si nuisible de la partie supérieure. Il fut, en conséquence, fondu renversé. Les précautions indiquées plus haut eurent, d'ailleurs, un succès complet, sous le double rapport de la résistance et de l'imperméabilité de la fonte.

Quant au piston qu'on avait également remplacé, il ne se comporta pas mieux que le précédent sous le rapport des infiltrations; mais celles-ci n'étaient pas assez graves pour entraver la marche de l'opération.

b. Résistance élastique.

TABLEAU III. — Barres de 15m,24 de longueur.

DÉSIGNATION de la fonte.	Section des barres.	CHARGES totales.	CHARGES par millimètre quarré.	ALLONGEMENTS observés totaux.	ALLONGEMENTS observés par unité de longueur.	ALLONGEMENTS calculés par unité de longueur.	OBSERVATIONS.
	m/m²	kil.	kil.	mèt			
Low-Moor n° 2.	682	1015	1,48	0,0024	0,00015	»	(1)
		3045	4,46	0,0079	0,00052	0,00045	
		5075	7,44	0,0140	0,00095	0 00075	
		7105	10,41	0,0231	0,00150	0,00105	
Blaenavon n° 2.	689	1015	1,47	0,0024	0,00016	»	(2)
		3046	4,41	0,0078	0,00051	0,00048	
		5076	7,36	0.0147	0,00096	0,00080	
		7106	10,31	0,0213	0,00139	0,00112	
Gartsherrie n° 3.	685	1015	1,48	0,0023	0,00015	»	(3)
		3046	4,44	0,0079	0,00052	0,00045	
		5075	7,41	0,0149	0 00097	0,00075	
		7105	10,37	0,0240	0,00157	0,00105	
		8148	11,89	0,0256	0,00174	0,00120	
Mélange de fontes de Leeswood n° 3 et de Glengarnock n° 3 en proportions égales.	685	1015	1,48	0,0023	0,00015	»	(4)
		3046	4,44	0,0075	0.00049	0,00045	
		5075	7,40	0,0136	0,00089	0,00075	
		6090	8,88	0,0170	0,00112	0,00090	

(1) Moyenne de 2 expériences. — (2) *Id.* — (3) *Id.* — (4) Moyenne de 3 expériences.

Ces résultats sont d'autant plus intéressants qu'on ne possédait pas jusqu'ici d'expériences directes sur la résistance élastique de la fonte à l'extension, et que la grande longueur des barres a permis de mesurer avec exactitude les allongements proportionnels dus même à de faibles charges. On voit que dans les trois premières séries la charge par unité de surface croissant dans le rapport de 1 : 7, les allongements par unité de longueur deviennent respectivement 10, 8,7, et 10,4 fois plus grands. Dans la quatrième série, une charge sextuple produit un allongement 7,4 fois plus grand. Dans les quatre séries, la charge minimum $1^k,48$ conduit à la même valeur du coefficient d'élasticité E=9.866.000.000, le mètre et le kilogramme étant pris pour unité.

La dernière colonne indique les allongements calculés dans l'hypothèse de leur proportionnalité aux charges. On voit que cette proportionnalité se soutient encore sensiblement pour une charge de $4^k,44$, égale aux 2/5 de la charge de rupture (*Voir le tableau* n° 2 relatif à la rupture des mêmes fontes), mais qu'au delà les écarts croissent rapidement.

Les valeurs observées des allongements proportionnels sous la charge, *i*, sont représentées assez exactement par la formule :

$$P = 9.754 i - 2.035.202 i^2,$$

P exprimant des kilog. par millimètre quarré (1).

(1) Appliquée, par exemple, aux quatre expériences sur la fonte de Low-Moor,

	kil.			
Elle donne. . .	P=1,42	4,52	7,43	10,10
Au lieu de. . .	1,48	4,46	7,44	10,41.

Allongements permanents.

On a admis pendant longtemps que tant que les forces appliquées à un solide ne dépassaient pas une certaine limite, le corps devenu libre reprenait exactement sa forme et ses dimensions primitives : et on attachait beaucoup d'importance à la détermination de cette limite, qu'on regardait comme celle des efforts auxquels le solide pouvait résister indéfiniment. Dès que l'application de la fonte commença à se généraliser, on ne tarda pas à reconnaître qu'elle pouvait supporter d'une manière permanente des charges capables de lui imprimer des déformations persistantes très-notables, et un examen plus approfondi a prouvé depuis que, loin de constituer une exception, la fonte rentre au contraire, à cet égard, dans la règle générale : qu'elle diffère seulement des autres matériaux de construction, par la nature plus tranchée, plus sensible des phénomènes. Les expériences les plus récentes, notamment celles de M. Wertheim, tendent, en effet, à démontrer que tous les corps soumis pendant un certain temps, et soustraits ensuite à l'action des efforts même les plus faibles, ont éprouvé dans leur constitution, dans l'état de leur équilibre moléculaire, une altération permanente; l'application d'une nouvelle force, différente de la première seulement en intensité, n'introduit pas de nouvelle altération *permanente*, tant que cette intensité est inférieure, ou au plus égale à la première; mais dès qu'elle la dépasse, une nouvelle modification définitive se produit. Les expériences de M. Hodgkinson confirment, ainsi qu'on va le voir, ces résultats. La *limite d'élasticité*, telle qu'on la définit ordinairement, repose

donc sur une notion inexacte; elle n'a pas, comme on l'a supposé pendant longtemps, la valeur d'un *criterium* absolu. Il n'en est pas moins vrai cependant que pour les matériaux autres que la fonte, la *limite d'élasticité* subsiste, sinon rigoureusement, du moins comme fait pratique; car les efforts auxquels ces matériaux peuvent être soumis sans danger ne leur impriment que des déformations permanentes très-faibles.

Tableau IV. — Expériences de M. Hodgkinson.

Barres de 15m,24 de longueur.

DÉSIGNATION de la fonte.	CHARGE par millimètre quarré.	Allongements permanents	
		totaux.	proportionnels.
	kil.	mèt.	
Low-Moor n° 2.	1,48	0,0001	0,000006
	4,46	0,0006	0,00004
	7,44	0,0016	0,00010
	10,41	0,0033	0,00021
Blaenavon n° 2	1,47	»	»
	4,41	0,0004	0,00003
	7,36	0,0015	0,00010
	10,31	0,0029	0,00019
Gartsherrie n° 3.	1,48	»	»
	4,44	0,0003	0,00002
	7,41	0,0012	0,00008
	10,37	0,0029	0,00019
	11,89	0,0035	0,00023
Fontes de Leeswood n° 3, et de Glengarnock n° 3, en proportions égales.	1,48	0,0001	0,000006
	4,44	0,0005	0,00003
	7,40	0,0011	0,00006
	8,80	0,0016	0,00010

Ces résultats prouvent : 1° que les allongements permanents se manifestent même pour de faibles charges, et qu'il suffit pour les rendre sensibles d'employer des barres d'une longueur suffisante;

2° que ces allongements croissent beaucoup plus rapidement que les charges auxquelles ils correspondent, et même que les allongements sous la charge (voir le tableau III); 3° que néanmoins les allongements *élastiques* croissent eux-mêmes beaucoup plus rapidement que les charges, ainsi qu'on le reconnaît en comparant à celles-ci les allongements sous la charge (tableau III) diminués des allongements permanents.

Un corps se constituant sous l'action d'efforts qui lui impriment une déformation très-prononcée, dans un état d'équilibre permanent, que la reproduction indéfinie des mêmes efforts ne modifie plus, est un fait assez digne d'intérêt pour que les exemples bien constatés soient recueillis. L'expérience suivante, due à MM. Easton et Amos, est d'autant plus remarquable, qu'elle a été pour ainsi dire poussée à outrance.

On prit un cylindre en fonte de $0^{m},2032$ de diamètre intérieur, $0^{m},368$ de haut, et $0^{m},270$ d'épaisseur. Un autre cylindre de $0^{m},0889$ de diamètre intérieur et alésé extérieurement un peu plus gros que le vide du premier, fut introduit dans celui-ci préalablement dilaté par la chaleur. On réalisait par cet embattage une solidarité intime entre les deux parties et l'ensemble de se trouvait, par les motifs déjà indiqués, dans des conditions de résistance plus favorables qu'un cylindre d'une seule pièce et de même épaisseur.

La cavité fut remplie en partie d'étain; puis on y inséra un piston d'acier parfaitement ajusté, sur lequel on exerça une pression de 987.000 kilogrammes ($30^{k},4$ par millimètre quarré.)

Sous cet énorme effort, le vase se dilata, et l'accroissement *permanent* du diamètre s'éleva à

$4^{m},8$. Le piston fut remplacé par un autre exactement adapté au nouveau diamètre et le cylindre put alors être soumis en quelque sorte indéfiniment à la même pression sans que son diamètre s'accrût (1).

Le nouvel état dans lequel le métal s'était alors constitué, est très-digne de remarque. L'allongement proportionnel permanent, tangentiellement à la section droite, s'élevait près de la surface intérieure à 1/18,6, c'est-à-dire à plus de 33 fois la valeur moyenne de l'allongement de rupture (tableau II, p. 432). La cohésion dans ce sens devait donc être complétement détruite sur une certaine épaisseur, et les files de molécules parallèles aux génératrices devaient être retenues seulement par leur liaison, dans le sens du rayon, avec les couches postérieures; il est évident, à *priori*, par le fait même de la résistance du cylindre, que l'allongement était bien loin d'être réparti uniformément dans toute l'épaisseur; le diamètre extérieur, si tant est qu'il eût varié, ne s'était pas accru sensiblement; il y avait condensation successive, dans le sens du rayon, des couches concentriques, et, *en définitive*, accroissement de densité.

En considérant le piston comme agissant sur un liquide, c'est-à-dire la pression 159 kil. (2) comme uniformément répartie sur toute la paroi intérieure, on trouve $18^{k},39$ pour l'effort *moyen* d'extension dans les sections passant par l'axe; l'exagération évidente de ce chiffre indique donc que, même sous l'énorme pression qu'il subissait, l'étain était loin de se comporter comme un liquide, contrairement à l'assertion de M. Clarke. La résistance du fond à un effort qui excède telle-

(1) Nous aurons plus tard occasion de citer, au sujet du fer, des observations semblables.

(2) Ce chiffre doit être substitué au nombre 30,4 imprimé par erreur à la page précédente.

ment la limite ordinaire de l'écrasement, pour la forme cubique, s'explique d'ailleurs et par la forme aplatie de ce fond (conformément au principe depuis longtemps établi par M. Vicat), et sans doute aussi par la nature exceptionnelle de la fonte.

Mais l'intérêt de cette expérience consiste, abstraction faite de toute évaluation numérique, dans la grandeur de la déformation permanente et dans cette mobilité, dans cette faculté de déplacement des molécules sans rupture proprement dite, qu'on ne s'attendait pas à rencontrer dans un corps aussi aigre que la fonte.

II° RÉSISTANCE A LA COMPRESSION.

---

a. Résistance à la rupture.

On sait que la résistance, par unité de section transversale, d'un prisme soumis à un effort de compression, dépend essentiellement du rapport de ses dimensions. Si on opère sur des prismes de sections égales, et de hauteurs d'abord très-petites et graduellement croissantes, la rupture a lieu par écrasement jusqu'à une certaine limite, à partir de laquelle la flexion intervient, change le mode de rupture, et réduit de plus en plus le chiffre de la résistance.

Le calcul donne l'expression approchée de la charge minimum capable de fléchir ce prisme; dans le cas, par exemple, où les deux extrémités de son axe sont assujetties à rester sur la même verticale, cette valeur est: $Q = \frac{\pi^2 EI}{a^2}$ (1). Avant

---

(1) *a* désigne la longueur du prisme, E le coefficient d'élasticité, I le moment d'inertie minimum de la section, relativement à un axe passant par le centre de gravité.

d'aller plus loin, il n'est peut-être pas inutile de définir les conditions dans lesquelles la théorie doit nécessairement se placer pour aborder cette question.

En pratique, la flexion a lieu parce que ces conditions : homogénéité parfaite du corps, symétrie complète dans la forme de la section du prisme et dans la distribution des efforts autour de son axe, ne sont pas remplies ; mais la théorie est obligée de supposer ces conditions, et dès lors, avec une section circulaire, carrée ou rectangulaire, la flexion est impossible, puisqu'il y a au moins deux sens contraires dans lesquels elle tend également à s'opérer. Mais cette difficulté disparaît, si on remarque que les supports, soumis à des charges constantes et assujettis aux conditions de symétrie que suppose la théorie, éprouvent en outre des efforts accidentels, temporaires, qui ne remplissent pas ces conditions, et sont dès lors aptes à produire une légère flexion. Le prisme une fois fléchi, la charge constante tend à conserver et même à augmenter la flèche ; mais l'élasticité du prisme tend à lui faire reprendre sa forme primitive, et on conçoit qu'elle l'emporte tant que la charge ne dépasse pas une certaine limite. C'est cette limite que fixe la théorie.

Si dans les expériences la flexion se manifeste toujours à partir d'une certaine hauteur, quelques précautions qu'on prenne pour remplir les conditions théoriques, c'est que le défaut d'homogénéité et le défaut de symétrie produisent ici le même effet que l'intervention accidentelle d'une force étrangère. L'influence de ces causes est d'autant plus sensible que le prisme est plus long : elle est irrésistible quand la hauteur est considé-

rable, mais pour des hauteurs médiocres elle peut être combattue plus ou moins efficacement, et la valeur de la charge de flexion dépendant alors de la disposition plus ou moins parfaite de l'expérience, n'a rien d'absolu (1).

Il y a plus : bien au-dessous du point à partir duquel la flexion intervient, tout accroissement

---

(1) Il en est de même pour la limite de la hauteur à partir de laquelle la flexion intervient pour un prisme d'équarrissage donné, et vient changer les conditions de la résistance; et le peu d'accord que présentent les indications données à cet égard par divers observateurs n'a rien de surprenant. Quant à la valeur théorique de cette limite, elle serait, pour un prisme d'équarrissage $b \times c$ (c étant le petit côté), $a = c\,\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{E}{3R'}}$(*), si l'expression $Q = \frac{\pi^2 EI}{a^2}$ de la charge minimum de flexion était rigoureuse : il y aurait écrasement pour une hauteur plus petite et flexion pour une plus grande : mais on sait que cette expression suppose essentiellement que la compression due à la force Q est très-petite; en d'autres termes, que cette force appliquée au prisme maintenu latéralement et ne pouvant dès lors fléchir, ne lui imprimerait qu'une diminution de longueur proportionnelle négligeable devant les variations de longueur qu'éprouvent les fibres extrêmes pour une flexion même très-faible. La valeur de Q n'est donc exacte que pour un prisme dont les proportions remplissent la condition : $\frac{\pi^2 E}{12} \cdot \frac{bc^3}{a^2}$ très-petit devant $R'bc$, c'est-à-dire quand la hauteur est très-grande relativement à $c \cdot \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{E}{3R'}}$. — « L'expression $Q = \frac{\pi^2 EI}{a^2}$, dit M. Navier (*Application de la mécanique*, etc., page 258), augmente rapidement à mesure que la longueur de la pièce diminue. » Elle augmente en effet; mais en même temps, elle cesse bientôt d'être exacte.

(*) R' étant la résistance à la rupture par écrasement.

de la hauteur entraîne une diminution de résistance, quoique le mode de rupture reste le même : ce qui tient à ce que la résultante des pressions ne coïncidant pas exactement avec l'axe du prisme, se rapproche de plus en plus d'une des arêtes de sa base inférieure, à mesure que la hauteur augmente. Les chiffres de la cinquième colonne du tableau suivant (n° V) indiquent nettement cette influence de l'accroissement de la hauteur même pour des prismes encore extrêmement courts. L'irrégularité de ces nombres, et les deux anomalies que présentent les expériences n°s 9 et 10, s'expliquent d'ailleurs et par les incertitudes de l'expérience, et sans doute aussi par un défaut d'identité dans la nature même des deux échantillons comparés.

Une diminution de résistance qui atteint 18 p. 100 doit paraître bien considérable quand il s'agit d'un solide dont la hauteur est seulement double du petit côté de la base ; mais j'ai eu occasion d'observer une influence plus prononcée encore des variations de la hauteur entre des limites tout aussi restreintes; des parallélipipèdes formés de volumes égaux de sable et de ciment de Vassy, de $0^m,10$ sur $0^m,07$, et $0^m,055$; ont supporté 136 kilogrammes par centimètre quarré, le petit côté étant vertical : la résistance s'est abaissée à 107 kilogrammes, quand le côté moyen a été placé verticalement ; c'est-à-dire qu'il a suffi pour diminuer la résistance de plus de 21 p. 100, que le rapport de la hauteur au plus petit côté de la base s'élevât de 0,78 à 1,27. Ces expériences, faites à l'atelier de MM. Gariel et Garnier, propriétaires de l'établissement de Vassy, étaient cependant exécutées au moyen d'un appareil bien disposé et avec toutes les précautions d'usage.

1° *Solides qui ne peuvent fléchir* (*écrasement*).

Tableau V. — Barres à section circulaire de 1 cent. 90 de diamètre.

Numéros.	DÉSIGNATION de la fonte.	Hauteur des prismes.	Charge de rupture par millimètre quarré.	Diminution de résistance correspondant à l'accroissement de la hauteur.	Rapport des résistances à la rupture par écrasement et par extension (a).
		centim.	kilogr.		
1	Low-Moor n° 1.	1,90 3,81	45,23 39,56	12 0/0	5,07
2	— n° 2.	1,90 3,81	69,76 64,72	7	6,42
3	Clyde n° 1.	1,90 3,81	65,09 62,20	4	5,74
4	— n° 2.	1,90 3,81	77,09 71,51	6	6,16
5	— n° 3.	1,90 3,81	75,14 73,50	2	4,55
6	Blaenavon n° 1.	1,90 3,81	63,68 56,46	11	6,50
7	— n° 2.	1,90 3,81	82,43 71,78	12	7,01
8	— n° 2.	1,90 3,81	48,06 48,04	0	4,75
9	Calder n° 1.	1,90 3,81	50,60 53,25	— 5	5,52
10	Coltness n° 3.	1,91 3,81	70,21 71,37	— 1	6,65
11	Brymbo n° 1.	1,91 3,81	52,44 51,03	2	5,17
12	— n° 3.	1,91 3,81	53,38 53,95	0	4,94
13	Bowling n° 2.	1,91 3,81	53,38 51,86	2	5,62
14	Ystalifera n° 1.	1,91 3,81	70,04 66,98	4	6,87
15	Ynisceedwin n° 1.	1,91 3,81	58,53 55,14	5	5,97
16	— n° 2.	1,91 3,81	54,06 52,83	2	5,76
17	Fonte de M. Morries Stirling, dite 2e qualité.	1,91 3,81	87,84 83,73	4	4,55
18	— dite 3e qualité.	1,91 3,81	111,20 91,03	18	5,17
				Moyenne. . .	5,7

(a) En prenant pour résistance à l'écrasement le plus grand des deux chiffres ci-contre.

Le rapport moyen des deux résistances à la rupture, déduit de ces expériences, est sensiblement inférieur à celui (6,42) qu'avaient donné des expériences antérieures, et entre autres celles de MM. Hodgkinson et Fairbairn (1).

La rupture des solides de fonte, trop courts pour être fléchis, présente généralement d'une manière très-distincte un phénomène bien connu, celui de la décomposition pyramidale : les *fig.* 4 à 8 indiquent quelques-unes des dispositions qu'affectaient les surfaces de rupture observées par M. Hodgkinson. Leur inclinaison variait de 48° à 58°.

On n'est pas d'accord sur la signification et la portée de ce fait. Le rapprochement des molécules parallèlement à l'axe du prisme n'est pas le *seul* effet de la compression à laquelle il est soumis. Il faut aussi qu'il se développe dans toute section oblique à l'axe une résistance *transverse* ou de *glissement* égale à la composante parallèle à ce plan de l'effort appliqué; de là résulte, entre les efforts de compression et de glissement développés par la charge (efforts rapportés à l'unité de surface), la relation $R = 2\gamma$ établie par Coulomb, et dans laquelle M. Navier a introduit, à la limite de rupture, le frottement qui ne doit pas y figurer, puisque cette force n'intervient que quand la rupture est consommée.

« Ces formules, dit simplement M. Navier (2), » peuvent donner les lois de l'écrasement d'un » prisme pressé par un effort exercé sur la face » supérieure. »

M. Vicat, plus explicite, est négatif à cet égard.

(1) M. Combes. Traité d'exploitation, t. I, p. 552.
(2) Application de la mécanique, etc., 2ᵉ éd., p. 127.

A ses yeux, la décomposition en pyramides n'est pas la manifestation du mode qu'affecte la rupture virtuelle; elle est simplement un effet consécutif et secondaire de cette rupture. Son opinion se fonde, d'une part, sur la mesure directe de la résistance transverse, mesure qui l'a conduit à des valeurs très-différentes de celles que donne la relation établie par Coulomb : de l'autre, sur une observation que l'auteur formule comme il suit (1) : «....En prenant toutes les précautions possibles, en » arrêtant le mouvement descendant de la plaque » supérieure aussitôt que l'œil, armé d'une loupe, » aperçoit les premières fentes, avec tous ces soins » cependant *on n'obtient jamais que des pyra-* » *mides informes*, *profondément altérées dans* » *leur contexture*, et sinon pulvérulentes, du » moins dans un état de cohésion si faible que » le moindre effort suffit pour les briser. » — Le phénomène dont il s'agit serait donc simplement, d'après M. Vicat, « l'effet de l'affaissement de la » matière comprimée. » — L'exactitude des observations de cet habile ingénieur n'est pas suspecte; mais peut-être a-t-il eu depuis occasion de reconnaître qu'il a déduit de quelques faits isolés, et de la théorie, des conséquences, les unes trop générales, les autres erronées. D'une part, j'opposerai à l'assertion qui précède les résultats des expériences déjà citées faites sur des parallélipipèdes de sable et de ciment. Sans prendre d'autres précautions pour conserver intact le mode de division initiale, que d'arrêter le levier

(1) Recherches expérimentales sur les phénomènes physiques, etc. (Annales des ponts et chaussées, 1833, 2e semestre, p. 198).

dans sa chute, on obtenait presque constamment une décomposition pyramidale très-bien caractérisée. La pyramide inférieure était surtout très-nette, souvent très-régulière, et sauf quelques fissures qu'on eût sans doute réussi à prévenir, sa cohésion en masse ne paraissait pas sensiblement altérée (1). D'un autre côté, en regardant comme une conséquence de la théorie applicable à tous les corps la relation $R' = 2\gamma'$ (R' étant la *force portante* ou la résistance à la compression, et γ' la résistance transverse,) M. Vicat a commis une confusion évidente et attribué à la théorie un résultat auquel elle ne conduit nullement (2).

Le phénomène dont il s'agit semble donc être moins insignifiant que le supposait M. Vicat, et se rattacher intimement à la relation de grandeur des résistances transverse et à l'écrasement, cette dernière dénomination indiquant le mode de rupture qu'affecte un prisme très-court comprimé qui se brise sans *glissement*. La résistance à l'extension influe également sur l'effet produit, et on conçoit que la présence ou l'absence de la décomposition pyramidale puisse dépendre de l'intensité relative de cette résistance, mise en jeu par la tendance à la dilatation transversale, qui est la conséquence de la compression longitudinale. Si,

(1) Le degré de régularité, de symétrie, de la décomposition pyramidale dépend essentiellement de la répartition plus ou moins uniforme de la charge. Il sert ainsi de contrôle à l'expérience et permet d'exclure en toute sûreté des résultats qui sembleraient être des anomalies. Dans les expériences citées, la disposition la plus régulière des pyramides coïncidait constamment avec les plus grandes valeurs de la charge.

(2) Voir la note (A) à la fin de ce mémoire.

comme cela a lieu pour les corps fibreux, pour le fer, pour le bois surtout, l'adhérence des fibres est relativement faible, l'effort de compression, poussé jusqu'à un certain point, détermine dans le prisme des fissures verticales qui se déclarent d'abord au milieu de la hauteur, s'étendent et décomposent finalement le prisme en plusieurs solides de même hauteur et de section très-réduite. Chacun de ces solides partiels étant dès lors, par le fait même de ses proportions, prédisposé à fléchir, ayant même éprouvé déjà un commencement de flexion, celle-ci s'accroît avec la charge, et la rupture a lieu enfin par flexion transversale, et par suite sans que la limite de la *résistance transverse* soit à beaucoup près atteinte.

Ce sujet, d'une importance pratique assez restreinte du reste (car il suffit au constructeur de connaître la limite des efforts de compression, indépendamment de son essence, des éléments qui la fixent), réclame de nouvelles expériences. M. Vicat a trouvé pour les résistances transverses des pierres et des mortiers des valeurs toujours très-supérieures à celles de la résistance à l'arrachement, et même, le plus souvent, de la résistance à l'écrasement. Ce résultat n'est point en contradiction avec la théorie, et il est d'ailleurs très-probable qu'il tient en partie au mode d'expérience adopté par cet ingénieur, et dans lequel la résistance qu'il voulait évaluer n'était pas seule vaincue (1).

---

(1) M. Vicat opérait en refoulant au moyen d'un piston, un petit cylindre qui séparait deux trous percés exactement sur le même axe. — « Les résistances transverses sont, dit-il, évidemment proportionnelles à l'étendue des » surfaces désunies. On remarque sur ces faces, d'ailleurs

Les expériences qui ont précédé ou suivi celles de M. Vicat ont été faites sur des pierres ou des briques réunies par des mortiers, parce que c'est en effet la résistance d'un tel système qu'il importe de connaître; ces expériences ont donné, dans plusieurs cas, la valeur de la résistance transverse, soit du mortier, soit de la pierre, parce que la rupture, qui peut aussi s'opérer à la surface de contact, avait très-souvent lieu soit dans la pierre soit dans le mortier. Or, jamais Coulomb, Boistard, ni M. Morin n'ont obtenu ainsi des valeurs comparables à celles qu'indique M. Vicat.

La résistance transverse de la fonte n'a jamais été mesurée. Il y a, en effet, peu d'intérêt à la connaître, parce que, même pour les solides les plus courts chargés transversalement, tels que les corbeaux, les consoles, etc., on est sûr *à priori* que cette résistance, qui a sur les deux autres l'avantage d'être mise en jeu uniformément dans toute l'étendue de la section, ne fera pas défaut.

D'après des expériences, dont les résultats seront reproduits plus tard, la résistance transverse du fer est à peu près égale à sa résistance à la compression; elle est donc bien loin aussi de satisfaire à la relation $R' = 2\gamma'$, ce qui est tout simple d'après le mode de rupture du fer comprimé qui ne présente jamais de tendance à la décomposition en pyramides (voir la note B).

» bien terminées, *une pulvérulence qui, s'étendant jusqu'à* » *une certaine profondeur*, atteste combien a dû être vio- » lent le mode de désorganisation éprouvée par la ma- » tière. » Cette pulvérulence atteste, d'une manière non moins évidente, que l'effort appliqué avait fait plus que de vaincre simplement la résistance transverse.

2° *Solides qui peuvent fléchir.*

D'après les expériences de M. Hodgkinson, c'est à partir du rapport 5 que la flexion commence à se manifester pour des prismes de fonte dont les extrémités sont assujetties à rester sur la même verticale, et à modifier les conditions de la rupture. Tant que ce rapport est compris entre 5 et 25, le mode de rupture est en quelque sorte mixte; il participe à la fois et de l'écrasement des solides très-courts et de la rupture des prismes sollicités seulement par des forces transversales. C'est donc seulement à partir du rapport 25 que la formule théorique $Q = K \frac{I}{a^2}$ (ou pour une section circulaire de diamètre d, $Q = K' \frac{d^4}{a^2}$), peut représenter les résultats de l'expérience. La forme rectiligne seulement instable tant que le rapport excède peu 5, devient bientôt décidément impossible pour des hauteurs plus grandes, même sous de faibles charges; et, vers le rapport 25, la compression directe que la formule néglige n'a plus qu'une influence insignifiante sur la rupture.

M. Hodgkinson a obtenu, en effet, en opérant sur des barres dont la longueur était égale à vingt-cinq fois au moins le diamètre, une vérification satisfaisante de la loi précédente. En comparant deux à deux les expériences faites sur des barres de même longueur et de diamètres différents, et posant la proportionnalité des charges de rupture à une même puissance de diamètre, il obtenait une valeur numérique de cette puissance. L'exposant de la longueur était déduit de même de la comparaison des résultats relatifs aux barres de

même diamètre et de longueurs différentes. Les moyennes des valeurs trouvées ainsi sont respectivement 3,6 au lieu de 4 pour les diamètres, et 1,7 au lieu de 2 pour les longueurs.

Les résistances à la rupture seraient donc exprimées pour les solides, dans lesquels le rapport est :

Égal à 5 au plus, par. . . . $Q = R' . \frac{1}{4} \pi d^2$. (1)

Id. plus grand que 25. . . . $Q = \frac{Kd^{3,6}}{a^{1,7}}$ (2)

R′ est la résistance à l'écrasement, par unité de surface; M. Hodgkinson donne pour la constante K : 44,16. d étant exprimé en pouces et a en pieds anglais, et Q en tonnes de 1.015^k,6; ce qui revient à K = 3.292.365, les unités étant le mètre pour d et pour a, et la tonne de 1,000 kilogrammes pour Q. On a donc, quand d est > $25a$, $Q = 3.292.000 \frac{d^{3,6}}{a^{1,7}}$ au lieu de $Q = 4.114.000 \frac{d^4}{a^2}$, valeur que donne la théorie en faisant E = 8.500.000.

Quant aux solides pour lesquels le rapport est compris entre 5 et 25, c'est pour eux surtout que l'influence des conditions plus ou moins parfaites de l'expérience se fait sentir; et pour les valeurs intermédiaires, telles que 12 ou 15, la charge de rupture se rapproche de (1) ou (2), suivant qu'on réussit plus ou moins à retarder l'apparition de la flexion (*).

(*) M. Hodgkinson a donné pour ces valeurs intermédiaires une formule fondée uniquement sur des considérations théoriques plus ou moins plausibles, et qu'il paraît dès lors inutile de reproduire. (Voir les *Philosophical transactions*, part. II, 1840.)

b. Résistance élastique.

TABLEAU VI. — Expériences de M. Hodgkinson.

Fonte de Low-Moor. Longueur des barres 3m,048.
Section transversale 2cent.,62 × 2cent.,61 = 6cent.q.,84.

CHARGES		COMPRESSION		RAPPORT des charges aux diminutions proportionnelles de longueur.
totales.	par millimètre quarré.	totale.	par unité de longueur.	
kil.	kil.	mèt.		
2.291	3,35	0,00137	0,00045	7.444
3.317	4,85	0,00198	0,00065	7.461
4.343	6,35	0,00259	0,00085	7.470
5.358	7,83	0,00320	0,00100	7.830
6.374	9,32	0,00383	0,00130	7.170
9.421	13,77	0,00439	0,00140	9.121
9.929	14,50	0,00533	0,00170	8.530
10.436	15,25	0,00627	0,00210	7.261
12.468	18,22	0,00762	0,00250	7.288
14.499	21,20	0,00907	0,00298	7.114
16.530	24,16	0,01074	0,00352	6.863
18.561	27,13	0,01277	0,00419	6.474
20 593	30,10	0,01435	0,00470	6.403
22.624	33,07	0,01763	0,00578	5.721
24,655	36,03	0,02190	0.00720	5.004
28.000	41,76	incertaine.	»	»
Section transversale des barres 2,61 + 2,66 = 6cent.q.,94.				
2.311	3,33	0,00109	0,00035	9.514
4.343	6,25	0,00208	0,00068	9.191
5.358	7,72	0,00259	0,00085	9 082
6.374	9,18	0,00312	0,00102	9.000
8.405	12,11	0,00422	0,00138	8.775
8.421	13,57	0,00480	0,00157	8.643
10.436	15,03	0,00588	0,00176	8.540
12.468	17,96	0,00645	0,00211	8.511
14.499	20,89	0,00767	0,00251	8.322
16.530	23,81	0,00902	0,00295	8.071
18.561	26,74	0,01052	0,00345	7.750
20.593	29,66	0,01222	0,00400	7.415
22.624	32,59	0,01418	0,00465	7.008
24.655	35,52	0,01694	0,00555	6.400

Les expériences de cette nature sont très-délicates; en opérant, comme l'a fait M. Hodgkinson, sur des barres très-longues pour rendre les variations de longueur plus sensibles et plus exactement

mesurables, on est forcé de recourir à des artifices plus ou moins efficaces pour empêcher la flexion de venir troubler les résultats, pour maintenir l'axe parfaitement rectiligne sans nuire à la libre transmission des pressions dans toute l'étendue de la pièce. Cette condition était remplie au moyen d'une sorte de gaîne en fonte dans laquelle la barre pouvait se contracter librement sans fléchir. La pression était produite au moyen d'un levier. Ces expériences sont remarquables à un double titre : elles présentent toutes les garanties d'exactitude que comporte le sujet, et elles sont, à très-peu près, les seules qu'on possède sur la compression directe de la fonte.

La seconde série du tableau ci-dessus présente (colonne 5), un décroissement d'une continuité remarquable du rapport des charges aux diminutions de longueur. Dans la première série, ce rapport oscille autour du nombre 7.730 jusqu'à une charge de 18 kilogrammes environ, à partir de laquelle le décroissement continu est nettement accusé.

Le tableau ci-dessous, qui indique les accourcissements proportionnels produits par les additions successives d'une même charge, et dont les éléments sont déduits de l'ensemble des observations de M. Hogdkinson sur des fontes de qualités diverses, met mieux en évidence la loi suivant laquelle ces variations de longueur croissent avec la charge déjà supportée par le solide.

TABLEAU VII.

Barreau de $3^{m},048$ de long et $2^{cent.},54$ d'épaisseur.

CHARGE par millimètre quarré.	ACCROISSEMENTS de la compression proportionnelle, correspondant aux charges *additionnelles* successives.
kil.	
1,57	0,000169
2 × 1,57	0,000175
3 × *id.*	0,000180
4 × *id.*	0,000178
5 × *id*	0,000180
6 × *id.*	0,000181
7 × *id.*	0,000183
8 × *id.*	0,000184
9 × *id.*	0,000186
10 × *id.*	1,000187
11 × *id.*	0,000188
12 × *id.*	0,000190
13 × *id.*	0,000191
14 × *id.*	0,000196
15 × *id.*	0,000196
16 × *id.*	0,000203
17 × *id.*	0,000206
26,69	0,003173

M. Hodgkinson conclut de ses nombreuses expériences que, dans les limites entre lesquelles la proportionnalité se soutient sensiblement, la longueur diminue de 0.000118 par kilogramme par millimètre carré, ce qui donne $E = 8474$, ou 8 milliards et demi, le mètre étant pris pour unité. Le coefficient d'élasticité relatif à la compression serait donc inférieur de 14 p. 100 à celui qui se rapporte à l'extension.

M. Hodgkinson a établi pour la compression comme pour l'extension une relation empirique entre les variations de longueur proportionnelles et les charges correspondantes. Cette formule est : $P = 9.052\,i - 366.085\,i^2$, P étant

exprimé en kilogrammes par millimètre carré. Elle représente les résultats des expériences à peu près au même degré d'approximation que la première.

Compressions permanentes.

TABLEAU VIII.

Barres de 3^{m},048 de largeur et $3^{cent.}$,54 d'équarrissage.

CHARGES par millimètre quarré.	COMPRESSIONS permanentes proportionnelles.
kil.	
1,57	0,000004
3,14	0,000020
4,71	0,000036
6,28	0,000058
7,85	0,000076
9,42	0,000098
10,99	0,000113
12,56	0,000154
14,13	0,000201
15,70	0,000234
17,27	0,000267
18,84	0,000323
20,41	0,000362
21,98	0,000438
23,55	0,000500
25,12	0,000669
26,69	0,000719

La comparaison de ce tableau et du tableau n° IV (p. 443) indique qu'à charges égales les déformations permanentes par compression sont du même ordre de grandeur que celles qui persistent après l'extension; mais que les premières sont inférieures aux secondes, et d'autant plus que les efforts sont plus considérables.

Ces résultats sont loin d'ailleurs de confirmer la loi si simple énoncée par l'auteur anglais : *les compressions permanentes sont proportionnelles aux quarrés des charges.*

Si, par exemple, on compare les compressions permanentes

0,000004 | 0,000020 | 0,000058 | 0,000464 | 0,000669

correspondant aux charges

1k.,57 | 3,14 | 6,28 | 12,56 | 25,12

on voit combien elles diffèrent des termes

| 0,000016 | 0,000064 | 0,000256 | 0,001024

d'une progression ayant pour raison 4.

RÉSISTANCE TRANSVERSALE.

Le principe général de la mise en œuvre des matériaux, quels que soient leur nature et les efforts auxquels ils sont soumis, peut s'énoncer ainsi : *la limite pratique de la tension des ressorts moléculaires ne doit être dépassée nulle part, elle doit être atteinte partout.* C'est de la seconde condition que dérivent, pour les solides sollicités par des efforts transversaux, les profils longitudinaux d'égale résistance, et les formes évidées. L'une de ces dispositions assure l'égalité de tension moléculaire dans toute l'étendue d'une même file longitudinale; l'autre réalise à peu près cette égalité dans toute l'étendue d'une même section transversale, parce qu'elle distribue la matière à des distances sensiblement égales de la surface neutre, sauf une certaine quantité indispensable pour opérer la solidarité des parties travaillant respectivement par extension et par compression, et les empêcher de fléchir chacune pour son compte. Cette partie intermédiaire rem-

plit de plus, aux environs des points d'appui et aux points d'inflexion, une autre fonction non moins essentielle : elle fournit le contingent nécessaire à la résistance *transverse*, dont la théorie de la flexion néglige ordinairement la considération (1). Les formes évidées ne conviennent pas *seulement*, d'ailleurs, pour les solides fléchis transversalement ; elles s'appliquent avec non moins d'avantage aux solides comprimés, puisqu'elles augmentent le moment d'inertie à quantité égale de matière, et élèvent ainsi la limite pratique de la charge, ou de la hauteur, à partir de laquelle la flexion commence.

Le principe des formes évidées pour les solides fléchis transversalement reçoit des applications continuelles dans les ouvrages en bois ou en fer. Le mode de construction des ponts dits *améri-*

---

(1) On doit à M. de Saint-Venant la formule générale qui tient compte de la composante transversale des forces moléculaires ; dans le cas, par exemple, d'un prisme rectangulaire encastré à un bout et chargé à l'autre, la relation entre P et R est

$$P = \frac{Rbc^2}{6a\left(\frac{3}{8} + \frac{5}{8}\sqrt{1 + \left(\frac{c}{3a}\right)^2}\right)}$$

qui se réduit dans la pratique à $\frac{Rbc^2}{6a}$, parce que $\left(\frac{3a}{c}\right)^2$ est généralement négligeable devant 1. — Cette formule suppose toujours d'ailleurs l'égalité des résistances à l'extension et à la compression ; et les coefficients de résistance et d'élasticité transverses n'y figurent pas à cause des relations $\delta = -\frac{1}{4}\delta$, $G = \frac{2}{5}E$ (δ_g et δ représentant les dilatations proportionnelles *maxima* par glissement et par extension en un même point du solide, et G le coefficient d'élasticité relatif au glissement), et de l'hypothèse $\gamma = \frac{4}{5}R$.

cains, qui franchissent de très-grandes ouvertures sans exiger ni bois de charpente, ni assemblages, ni l'emploi du fer, offre un des exemples les plus remarquables de cette application. Elle repose, dans ce cas et dans d'autres analogues, sur des combinaisons plus ou moins compliquées : ce n'est, en effet, que par la liaison d'un assez grand nombre de pièces distinctes, qu'elle peut être avantageusement réalisée pour le bois ; tandis que la fonte, qui peut recevoir à très-peu de frais des formes accidentées, dont on peut faire varier les dimensions transversales suivant une loi déterminée sans perte de matière et sans surcroît de main-d'œuvre, se prête bien mieux que les autres matériaux à l'application des deux principes qui conduisent à l'égalité absolue de résistance : c'est-à-dire, encore une fois, à l'égalité de tension moléculaire dans tous les points du solide.

Malgré cette propriété précieuse, la fonte est rarement employée aujourd'hui en Angleterre dans les grands travaux. Pour les ponts sur poutres, par exemple, elle a perdu la confiance des constructeurs, à la suite de plusieurs ruptures survenues à l'improviste, et qui ont déjoué tous les calculs de la prudence. On rejette donc aujourd'hui les poutres en fonte (sauf les cas d'ouvrages d'une très-faible ouverture, tels que les ponceaux), et on leur substitue des poutres en tôle (1). Quand

(1) On commence également à substituer la tôle à la fonte pour les plaques tournantes (*) : ces pièces se brisent souvent sous l'action des chocs qu'elles éprouvent par suite de l'imperfection de leur assiette ou d'une mauvaise répartition de la charge entre le pivot et les galets.

(*) L'usine de la Providence (Meuse) vient de construire plusieurs plaques en tôle pour le chemin de fer de Bordeaux.

on tient à faire usage de la fonte, ce n'est plus à l'état de poutres qu'on l'emploie, mais sous la forme de fermes en arcs surbaissés au 1/10, et souvent plus; la tendance au déversement, à la flexion latérale, étant d'ailleurs convenablement combattue par des contre-vents, la fonte travaille exactement comme la pierre ou la brique dans les voûtes en maçonnerie, c'est-à-dire par compression.

L'exclusion que les ingénieurs anglais ont été conduits à prononcer contre la fonte dans ces circonstances diminue sans doute, au point de vue des grandes constructions, telles que celles des travaux publics, l'intérêt que présente l'étude de la flexion transversale de ce corps. Mais cet intérêt s'accroît au contraire, sous d'autres rapports, en raison des applications chaque jour plus nombreuses de la fonte aux constructions industrielles et à l'établissement des machines.

a. Résistance à la rupture.

On sait que les formules théoriques ne représentent l'état d'équilibre des prismes fléchis transversalement que dans une certaine étendue variable pour chacun d'eux, et quelquefois très-faible, de l'échelle des résistances élastiques; et qu'au delà de ce point, et *à fortiori* vers la rupture, ces formules ont à peine une valeur empirique; la constante R, par exemple, déduite de l'expression $P+\frac{ap}{2}=\frac{4IR}{Va}$, relative au cas d'un prisme posé sur deux appuis et chargé d'un poids P au milieu, exprime assez exactement la valeur commune, rapportée à l'unité de surface, des efforts d'extension et de compression auxquels sont sou-

mises les fibres extrêmes, tant que la flèche est très-faible; mais au delà la valeur numérique ainsi obtenue n'exprime ni l'un ni l'autre de ces efforts, qui cessent alors d'être égaux, mais seulement une quantité intermédiaire qui n'a plus de signification précise; et quand on applique la formule aux circonstances de la rupture, la valeur de R qu'on en déduit n'a souvent plus rien de commun avec les quantités alors essentiellement différentes, qu'elle est censée réprésenter également (1). La théorie suppose que l'axe neutre passe constamment par le centre de gravité : cela a lieu, en effet, pour de très-faibles efforts; mais à mesure qu'ils croissent, l'axe se déplace, et ce déplacement assujetti à des lois inconnues, plus ou moins rapide d'ailleurs dans les divers corps, met bientôt en défaut les spéculations théoriques, et a même déjoué jusqu'ici toutes les tentatives faites pour l'établissement de formules empiriques comparables à celles qui, en physique, suppléent parfaitement pour les applications, aux formules exactes.

Des divers matériaux de construction, la fonte paraît être celui pour lequel ce déplacement de

---

(1) Que conclure, par exemple, des valeurs de la constante R citées par M. Navier (page 87), valeurs qui varient pour la fonte de 17,9 à 38,5? On se tromperait en regardant ces variations comme dues uniquement à des différences dans la qualité des fontes expérimentées; la diversité des dimensions y entre aussi pour une bonne part, abstraction faite de leur influence sur la résistance de la fonte; et on ne serait fondé, ni à considérer ces nombres comme exprimant les valeurs relatives des diverses fontes, ni à appliquer à une d'elles la valeur de R déduite de la rupture d'un prisme de la même fonte, mais de dimensions très-différentes.

l'axe neutre est le plus rapide : c'est dès lors pour elle aussi que l'imperfection, l'impuissance même de la théorie et l'insuffisance des expériences sont surtout manifestes. Ces difficultés s'évanouissent d'ailleurs à peu près pour certaines formes évidées très-usuelles (1).

L'application des formules théoriques à des formes quelconques, n'est cependant ni illégitime ni inutile, même pour de grandes flexions, même vers le point de rupture : il faut seulement ne demander alors à ces formules que ce qu'elles peuvent donner ; c'est-à-dire un moyen de comparer, de classer entre elles les diverses qualités de fonte. Mais pour que les valeurs de la constante soient comparables, il faut opérer sur des échantillons de dimensions identiques. L'influence de la *nature* du minerai, du procédé de fabrication (de la température de l'air, par exemple), et celle des mélanges seraient bien mieux connues, si tous les expérimentateurs s'entendaient pour opérer sur un type commun de barres à section rectangulaire ; et l'influence du mode de distribution de *la matière* serait également appréciée d'une manière plus exacte, si la comparaison des résistances élastiques et à la rupture portait sur des barres de même longueur, de même poids, et différant seulement par la forme de la section transversale.

(1) Voir la note (B).

TABLEAU IX. — Expériences de M. Hodgkinson.

DÉSIGNATION de la fonte.	Distance des appuis.	SECTION.		CHARGE DE RUPTURE	
		Côté vertical.	Côté horizontal.	observée.	calculée.
	mèt.	centim.	centim.	kil.	kil.
Clyde n° 3.	1,372	2,54	2,54	257,08	255,89
Id.	0,686	2,54	2,54	515,06	511,88
Blaenavon n° 2.	5,940	5,08	2,54	259,34	255,72
Id.	4,118	5,08	2,54	273,40	340,96
Clyde n° 3.	2,745	5,08	2,54	353,65	511,89
Id.	1,403	5,08	2,54	958,80	1.023,78
Id.	0,701	2,54	5,08	1.012,90	1.023,78
Blaenavon n° 2.	5,486	7,62	2,54	435,70	575,82
Id.	4,115	7,62	2,54	583,53	767,61
Id.	2,743	7,62	2,44	910,43	1.151,64
Clyde n° 3.	1,372	7,62	2,54	1.987,71	2.303,27
Id.	0,686	2,54	7,62	1.398,29	1.535,21
Id.	4,115	5,08	5,08	4.828,71	6.823,67
Id.	2,743	5,08	5,08	836,16	1.023,78
Id.	1,372	5,08	5,08	1.625,89	2.037,10
Id.	2,743	7,62	5,08	1.829,00	2.303,27
Id.	1,372	5,08	7,62	2.446,55	3.070,88
Id.	4,115	7,62	7,62	1.458,59	2.302,27
Id.	2,058	7,62	7,62	3.051,84	4.604,54
Id.	2,058	7,62	7,62	3.150,68	4.604,54

TABLEAU X. — Expériences de M. Stephenson.

Distance des appuis : $0^m,305$.
Section : quarré de $2^{cent.},54$ de côté.

	Charge de rupture.	Flèche à l'instant de la rupture.
	kil.	centim.
Fonte à l'air chaud.	374,51	2,00
Fonte à l'air froid.	387,66	1,99
Mélange de fontes diverses.	407,15	»

Dans une autre série d'expériences faites par M. Hodgkinson, cinq barres de fonte de Blaenavon n° 2, de $0^m,0762$ sur $0^m,038$, placées sur des rouleaux de friction écartés de $4^m,177$, le petit côté de la section étant vertical, ont supporté en moyenne une charge maxima de 371 kil. : la flèche moyenne à l'instant de la rupture était $0^m,266$.

La dernière colonne du tableau n° IX indique les résistances calculées par la formule $P = \frac{4IR}{Va}$, en attribuant à R la valeur moyenne 32,1 généralement admise par les praticiens anglais d'après les expériences de M. Barlow. On voit qu'à l'exception d'un très-petit nombre de coïncidences les résultats de l'observation et ceux du calcul présentent des divergences énormes.

Ces écarts sont tout simples : ils étaient évidents à *priori*, mais on remarque qu'ils croissent avec l'équarrissage des barres ; la valeur moyenne de R, déduite des trois dernières expériences, est seulement 21,3, tandis qu'avec une section neuf fois moindre la valeur 32,1 convient parfaitement *à la même fonte* ainsi que l'indiquent l'accord des valeurs calculées et observées pour les deux premières expériences. Cette espèce d'anomalie s'explique facilement par le vice même de la formule ; la constante s'applique beaucoup mieux aux deux premières expériences qu'aux trois dernières, parce que dans celles-ci les dimensions des barres s'écartent beaucoup plus de celles des barres sur lesquelles M. Barlow a opéré. Mais cette cause n'est pas la seule. Il résulte évidemment des faits cités plus haut au sujet de l'extension directe, que si la formule exacte était connue elle conduirait, pour une même qualité de fonte, à des valeurs de R variables avec l'équarrissage et d'autant plus faibles que cet équarrissage serait plus considérable. Cette influence des surfaces, très-nettement constatée comme on l'a vu pour les efforts directs, et établie par cela même pour les solides chargés transversalement, a été vérifiée par de nombreuses expériences dues au capitaine

James. Elles ont toujours donné un chiffre beaucoup plus faible pour la résistance transversale des barres extraites de la partie centrale des grosses pièces de fonte, que pour celle des barres coulées avec les mêmes dimensions.

Le levage du tube du pont de Conway a offert un exemple direct des dangers que présente la fonte soumise en grosses pièces à des efforts transversaux : un vice d'exécution aggravait à la vérité les conditions déjà défavorables de la résistance; mais ces défauts sont d'autant plus difficiles à éviter que les pièces sont plus volumineuses.

Le tube était suspendu à chaque bout, par les chaînes de levage, à la traverse de la presse hydraulique. Cette traverse (*fig.* 9 et 10) était en fonte et pesait 7.100 kil. : en la considérant comme un solide posé sur deux appuis espacés de $2^m,058$ (distance d'axe en axe des chaînes) et admettant pour la constante $R = 17,31$ valeur minima déduite des expériences de M. Hodgkinson, on trouve pour la charge de rupture placée au milieu 1.584.000 kilogrammes. Le demi-*tube* avec les charges additionnelles pesait seulement 650.000 kilogrammes; on devait donc croire qu'on avait fait une part assez large à l'affaiblissement de la résistance moyenne. Cette confiance était d'autant plus légitime que, d'une part on n'avait pas à redouter l'effet des retraits à tendances contraires auxquels les pièces de formes plus compliquées sont sujettes, et que de l'autre la tige du piston s'appuyait sur la traverse, non par une surface très-étroite, mais (on devait du moins le supposer) par un large épaulement.

Cependant une fissure se manifesta au milieu de cette pièce pendant le levage du deuxième

tube; elle s'étendait sur 0m,178, c'est-à-dire sur le tiers de l'épaisseur, et devenait tout à fait invisible dès qu'on calait le tube pour ramener le piston au bas de sa course.

Le tube ayant encore à s'élever d'un mètre *seulement* pour atteindre son niveau définitif, on prit toutes les précautions nécessaires pour empêcher sa chute en cas de rupture complète de la traverse, et on put terminer le levage sans la remplacer; mais la fissure fit encore des progrès notables, et la traverse aurait infailliblement cédé si l'opération avait dû se prolonger.

Plus encore que les chiffres précédents, le fait même de la résistance rigoureusement suffisante que cette pièce possédait encore avec une section *réduite* du tiers, prouve que la rupture partielle était l'effet d'un vice local.

Le métal présentait en effet dans la région de la fissure une texture très-lâche, il était presque dépourvu de cohésion. On reconnut bientôt les causes de cette altération : d'une part, la *pièce* avait été coulée dans sa position naturelle, au lieu de l'être *sens dessus dessous* comme il convenait pour améliorer la qualité du métal qui devait travailler par extension. D'un autre côté, le *jet* avait été placé à tort au milieu de la pièce, c'est-à-dire à la section dangereuse; en agitant le métal en ce point comme c'est l'usage pour le moulage des grosses pièces afin de faciliter le dégagement des gaz et le travail du retrait, les fondeurs avaient poussé trop loin cette opération. Ainsi agitée lorsqu'elle était déjà pâteuse, la fonte n'avait pu acquérir, dans cette région, sa cohésion normale. Enfin, pour surcroît de malheur, la traverse s'appliquait seulement sur le prolongement de

la tige du piston, elle ne profitait nullement de la large surface d'appui que le collet *cc* lui offrait. La formation de la fissure dans de semblables circonstances n'avait donc rien de surprenant.

Ce sont des mécomptes de ce genre, très-fréquents, très-faciles à expliquer, mais beaucoup moins faciles à prévenir, qui ont fait tomber la fonte en discrédit auprès des constructeurs anglais. Instruit par la grande expérience de Conway, M. Stephenson n'a admis la fonte, pour l'érection du *Britannia*, que dans les circonstances où son emploi était évidemment ou sans danger, ou le seul possible. Ainsi il l'a exclue pour les poutres destinées à supporter les presses, et (au moins en tant que soumise à un effort d'extension) pour les traverses des pistons, tandis qu'il l'a conservée, par nécessité, pour les cylindres (1). On a vu que la nature perfide de la fonte s'est révélée aussi dans cette application. Je n'insisterai pas plus longuement sur les exemples de cette nature; je citerai seulement, au sujet de l'influence d'une forme vicieuse sur les effets du retrait, un exemple qui n'a rien de nouveau comme principe, mais remarquable par l'intensité du phénomène.

(1) Dans ces nouvelles traverses, l'effort d'extension était supporté par quatre ou par huit tirants en fer superposés encastrés aux deux bouts dans la fonte. Ces tirants, trop courts pour que les épaulements ménagés à leurs extrémités pussent être mis en place à froid, devaient être préalablement dilatés par la chaleur. L'effort de traction développé par leur tendance à se contracter était assez énergique pour faire prendre à l'énorme pièce de fonte une courbure très-sensible, qui s'effaçait sous l'action de la charge.

Les *fig.* 11 et 12, 13 et 14 représentent respectivement en coupe et vues l'une en dessus, l'autre en dessous la traverse de la grande presse simple, et celle de la presse double.

Les poutres en fonte sur lesquelles devaient être installées les presses du pont de Conway avaient été coulées avec des nervures (*n. n. fig.* 15), dont la saillie croissait uniformément du haut au bas du solide. Ces poutres se brisèrent spontanément en morceaux par le refroidissement (1). D'autres, dans lesquelles la saillie des nervures avait été réduite comme l'indique la *fig.* 16, remplirent parfaitement leur destination. Toutefois M. Stephenson crut devoir aussi recourir au fer pour la construction de ces poutres dans le levage du *Britannia*.

En somme, la prudence exige, sauf le cas d'ouvertures très-faibles, qu'on renonce aux poutres en fonte pour les ponts et surtout pour les ponts sous les chemins de fer, destination à laquelle elles se prêtaient si bien d'ailleurs à cause de la faible épaisseur qu'elles permettent de donner aux ouvrages. On a construit des ponts sur poutres en fonte de plus de 18 mètres d'ouverture : une semblable hardiesse ne serait plus permise aujourd'hui. Quant aux poutres d'assemblage avec tirants en fer, dans lesquelles la fonte ne travaille que par compression, elles peuvent admettre des ouvertures bien plus considérables, et M. Stephenson a appliqué ce principe à la construction d'un pont de 32 mètres d'ouverture sur

(1) On sait que de nombreuses fissures se sont produites peu à peu dans les châssis qui forment les tympans du pont d'Austerlitz. On en a remarqué aussi dans quelques-uns des panneaux destinés aux garde-corps du pont nouvellement construit sur la Loire pour l'embranchement de Nevers.

l'Arno (1). La tôle rivée possède d'ailleurs presque au même degré les propriétés précieuses de la fonte, sans être sujette aux mêmes inconvénients.

Expériences de M. Calla.

M. Calla, constructeur de machines à Paris, a fait plusieurs expériences sur la résistance des fontes; quelques-uns des résultats qu'il a bien voulu me communiquer méritent d'être reproduits. Les barreaux de $0^m,02$ d'équarrissage, placés sur des couteaux en acier écartés de $0^m,47$, étaient chargés au milieu. Le poids de rupture a varié de 220 à 500 kilogrammes; le deuxième chiffre, tout à fait exceptionnel, s'applique à des mélanges de fontes anglaises de Beaufort, de fontes belges de qualité supérieure, et de vieilles fontes du commerce. Le fait capital qui ressort de ces expériences consiste dans l'influence des mélanges. La charge de rupture d'un mélange a toujours été supérieure à la moyenne et souvent même au maximum des charges observées pour les éléments.

D'après M. Calla, une bonne fonte ordinaire doit supporter, dans les conditions indiquées, une charge de 350 kilogrammes environ (valeur correspondant de R: 31,6).

Les mêmes expériences conduisent à regarder l'air chaud comme nuisible à la ténacité des fon-

(1) Les poutres qui supportent les salles d'attente de la nouvelle gare du chemin de l'Ouest, à Paris, offrent un exemple remarquable, quoique sur une petite échelle, de la même disposition (voir la note B).

tes. Cette conséquence, respectivement confirmée et combattue par les observations faites d'une part en Belgique et dans le nord de la France; de l'autre, dans les usines du centre et en Angleterre, ne doit pas être généralisée : les effets de l'air chaud paraissent être en relation plus ou moins étroite avec la nature des minerais. Il semble, par exemple, très-convenable pour le traitement des minerais en grains du Berry.

M. Calla a constaté également l'influence des mélanges sur le retrait : les fontes étaient coulées, sous la forme indiquée (*fig.* 17), dans des moules en sable d'étuve très-fortement desséché, et ayant à peu près la consistance de la brique. Pour certaines fontes, il y avait, après le refroidissement, *rupture* complète en *a*; pour d'autres, seulement des fissures : pour des mélanges convenables, la continuité n'était pas altérée. La combinaison des diverses qualités de fonte, très-avantageuse au point de vue de la ténacité absolue, paraît donc mériter aussi d'être étudiée comme un *remède* efficace contre l'état de tension moléculaire auquel les pièces de fonte sont plus ou moins sujettes par suite de leur forme.

b. Résistance transversale élastique de la fonte en barres.

Dans les expériences faites sur des barres de fonte, les flèches sous la charge croissaient plus rapidement que les poids. M. Hodgkinson, n'a pas cherché d'ailleurs à lier ces deux quantités par une de ces relations empiriques que les observateurs anglais sont souvent disposés à établir un peu gratuitement.

Flèches permanentes.

En comparant, dans les expériences citées plus haut sur cinq barres de fonte de Blaenavon n° 1, les flèches sous la charge et les flèches permanentes, correspondant à une même charge, M. Hodgkinson a reconnu que les secondes sont sensiblement proportionnelles au quarré des premières; il donne pour la formule qui lie ces deux quantités $p = \frac{f^2}{0,8}$, l'unité étant le mètre.

De cette loi approchée résulte cette conséquence remarquable, que des barres de fonte fléchies d'une même quantité par une pression exercée au milieu, conservent également, quels que soient leur équarrissage et leur longueur, des flèches égales après l'enlèvement de la charge.

Résistance transversale des tuyaux de fonte.

1° *Résistance à la rupture.*

M. Stephenson a fait exécuter sous sa direction, par M. John Hosking, des expériences comparatives sur la résistance de la fonte, moulée en tuyaux de profils divers. La distance des appuis était constante; les tuyaux étaient coulés en même temps avec la même fonte; l'épaisseur de celle-ci et le poids des tubes, et par suite la section pleine, étaient les mêmes : on s'attachait, en un mot, à obtenir des éléments identiques, l'influence de la forme étant celle qu'on voulait surtout étudier.

Les efforts exercés au moyen d'une romaine agissaient de haut en bas. La *fig.* 18 indique assez la disposition de l'appareil.

TABLEAU XI.

Distance des appuis $1^{m},83$. — Epaisseur de la fonte $9^{mill.},52$.

SECTION TRANSVERSALE.	Poids du tube.	Charge de rupture.	Moyenne.
	kil.	kil.	kil.
Quarrée. Côté (mesuré au milieu de l'épaisseur): $0^{m},0699$	35,8 34,9 34,0	2.082 2.448 2.031	2.187
Circulaire. Diamètre (au milieu de l'épaisseur): $0^{m},0880$.	35,8 36,27 35,8	2.123 2.485 2.397	2.326
Rectangulaire. Hauteur (au milieu de l'épaisseur): $0^{m},0932$ Largeur *id.* $0^{m},0466$.	32,64 33,55 33,10 33,55	2.234 2.295 2.488 2.269	2.246
Elliptique. Hauteur (mesurée au milieu de l'épaisseur): $0^{m},1184$. *Largeur id.* $0^{m},0592$	33,55 50,00 33,55 39,00 39,00 41,00	3.656 3.230 2.906 (*) 3.465 3.250 3.656	3.370

(*) Fonte coulée trop chaude.

Les chiffres de la quatrième colonne indiquent une infériorité marquée de la section quarrée, et un avantage très-prononcé en faveur de la forme elliptique.

L'ordre indiqué par la théorie, c'est-à-dire celui des valeurs numériques du rapport $\frac{I}{V}$, est le même; mais la progression théorique est bien plus rapide. Ainsi, en représentant par 1 la charge de rupture du tuyau quarré, celles des autres tuyaux sont respectivement :

	D'après l'expérience.	D'après les formules.
Tuyau circulaire. . .	1,06	1,28
Rectangulaire.	1,07	2,13
Elliptique.	1,54	2,73

Ce rapprochement fait bien ressortir l'imper-

fection des formules appliquées même à des solides dans lesquels la nature et l'épaisseur de la fonte étaient identiques.

2° *Résistance élastique.*

Ces expériences ont été faites au moyen de l'appareil déjà indiqué et sur les mêmes tuyaux. Le levier *ab*, dont le petit bras restait constamment appliqué sur le milieu du tuyau transmettait à la règle verticale *bc*, munie d'un vernier, des déplacements proportionnels aux flèches; celles-ci étaient mesurées ainsi avec beaucoup d'exactitude.

TABLEAU XII. — 1° Tuyaux à section quarrée.

Distance des appuis $1^m,83$,
Côté du quarré (mesuré au milieu de l'épaisseur) $0^m,0669$.
Epaisseur de la fonte $9^{mm},52$.

Poids des tuyaux.	Charge appliquée au milieu.	FLÈCHES SOUS LA CHARGE observées.	FLÈCHES SOUS LA CHARGE calculées (*).	Flèches permanentes.
	kil.	mét.	mét.	mét.
35,8	355	0,0025	»	0,0003
	710	0,0052	0,0050	0,0007
	1.065	0,0083	0,0075	0,0011
	1.420	0,0114	0,0100	0,0017
	1.775	0,0152	0,0125	»
23,9	355	0,0024	»	0,0002
	710	0,0058	0,0048	0,0004
	1.065	0,0084	0,0072	0,0008
	1.420	0,0117	0,0096	0,0012
	1.775	0,0153	0,0120	0,0020
	2.130	0,0196	0,0144	»
»	355	0,0025	»	0,0002
	710	0,0053	0.0050	0,0004
	1.065	0.0085	0,0075	0,0006
	1.420	0,0119	0,0100	0,8010
	1.775	0,0157	0,0125	0,0017

(*) Ces valeurs sont déduites de la flèche sous la charge minimum dans l'hypothèse de la proportionnalité des flèches et des charges.

TABLEAU XIII. — 2° Tuyaux à section circulaire.

Diamètre (mesuré au milieu de l'épaisseur) $0^{m},0339$.
Epaisseur de la fonte $9^{mm},52$.

Poids des tuyaux.	Charge appliquée au milieu.	Flèches sous la charge observées.	Flèches sous la charge calculées.	Flèches permanentes.
	kil.	mèt.	mèt.	mèt.
35,8	355	0,0023	»	»
	710	0,0047	0,0046	»
	1.065	0,0071	0,0069	»
	1.420	0,0099	0,0092	»
	1.775	0,0132	0,0115	»
36,27	355	0,0024	»	0,0002
	710	0,0047	0,0048	0,0005
	1.065	0,0071	0,0072	0,0009
	1.420	0,0099	0,0096	0,0010
	1.775	0,0132	0,0120	»
	2.130	0,0164	0,0144	»
»	335	0,0022	»	»
	710	0,0042	0,0044	»
	1.065	0,0064	0,0066	»
	1.420	0,0091	0,0088	»
	1.775	0,0117	0,0110	»
	2.130	0,0152	0,0132	»

TABLEAU XIV. — 3° Tuyaux rectangulaires.

Hauteur (mesurée au milieu de l'épaisseur) $0^{m},0032$.
Epaisseur de la fonte $9^{mm},52$.
Largeur. . . . . $0^{m},0466$

Poids des tuyaux.	Charge appliquée au milieu.	Flèches sous la charge observées.	Flèches sous la charge calculées.	Flèches permanentes.
	kil.	mèt.	mèt.	
32,64	375	0,0020	»	»
	710	0,0041	0,0040	»
	1.065	0,0067	0,0060	»
	1.420	0,0095	0,0080	»
	1.775	0,0118	0,0100	0,0012
	2.130	0,0152	0,0120	»
33,55	355	0,0022	»	»
	710	0,0045	0,0044	»
	1.065	0,0066	0,0066	»
	1.420	0,0091	0,0088	»
	1.775	0,0119	0,0110	0,0009
	2.130	0,0150	0,0132	»
33,10	355	0,0017	»	»
	710	0,0036	0,0034	1,0002
	1.065	0,0076	0,0051	0,0003
	1.420	0,0078	0,0068	0,0006
	1.775	0,0102	0,0085	0,1000
	2.130	0,0127	0,0102	0,0013
	2.485	0,0156	0,0119	0,0021
33,55	355	0,0017	»	»
	710	0,0038	0,0034	»
	1.065	0,0058	0,0051	0,0006
	1.420	0,0079	0,0068	0,0008
	1.775	0.0103	0,0085	0,0012
	2.130	0,0128	0,0102	0,0018
	2.336	0,0145	0,0119	»

TABLEAUX XV. — 4° Tubes elliptiques.

Grand axe (mesuré au milieu de l'épaisseur). 0m,1184
Epaisseur de la fonte 9mm,52.
Petit axe. 0m,0592

Profil des tuyaux.	Charges appliquées au milieu.	FLÈCHES SOUS LA CHARGE observées.	FLÈCHES SOUS LA CHARGE calculées.	Flèches permanentes.
	kil.	mèt.	mèt.	
	355	0,0018	»	»
	710	0,0030	0,0036	0,0002
	1.065	0,0046	0,0054	0,0005
	1.420	0,0064	0,0072	0,0008
33,55	1.775	0,0081	0,0090	0,0011
	2.130	0,0099	0,0108	0,0014
	2.485	0,0125	0,0126	0,0018
	2.840	0,0140	0,0144	»
	2.996	0,0150	0,0152	»
	355	0,0018	»	»
	710	0,0032	0,0036	»
	1.065	0,0052	0,0053	»
	1.420	0,0072	0,0072	»
50,00	1.775	0,0094	0,0090	0,0009
	2.130	0,0118	0,0108	»
	2.485	0,0144	0,0126	»
	2.840	0,0175	0,0144	»
	3.195	0,0208	0,0162	»
	355	0,0019	»	0,0002
	710	0,0036	0,0036	0,0005
	1.065	0,0054	0,0054	0,0008
33,55	1.420	0,0072	0,0072	0,0011
	1.775	0,0093	0,0090	0,0014
	2.130	0,0113	0,0108	0,0018
	2.485	0,0135	0,0126	0,0022
	2.840	0,0160	0,0144	»
	355	0,0015	»	»
	710	0,0030	0,0030	»
	1.065	0,0046	0,0045	»
	1.420	0,0063	0,0060	»
39,00	1.775	0,0081	0,0075	0,0011
	2.130	0,0100	0,0090	»
	2.485	0,0119	0,0105	»
	2.840	0,0150	0,0120	»
	3.195	0,0162	0,0135	»
	1.420	0,0062	»	0,0009
39,00	2.130	0,0102	0,0093	»
	2.840	0,0143	0,0124	0,0023
	3.195	0,0165	0,0140	»
	1.420	0,0056	»	»
41,00	2.130	0,0089	0,0084	»
	2.840	0,0127	0,0112	0,0018
	3.195	0,0150	0,0126	»
	3.485	0,0173	0,0137	0,0028

Sans insister longuement sur les conséquences de ces tableaux, je signalerai les principales :

1° Dans chacune des quatre séries d'expériences, les mêmes charges ont produit à très-peu près les mêmes flèches. L'identité des conditions qu'on *s'était* attaché à obtenir était donc réalisée.

2° La proportionnalité approchée des flèches et des charges se maintient sensiblement dans la même étendue de l'échelle pour le quarré, le cercle et le rectangle ; elle persiste plus longtemps pour l'ellipse (1).

3° A charges égales, les flèches décroissent, pour ces diverses formes, dans l'ordre suivant : quarré, cercle, rectangle, ellipse. Ainsi, sous la charge minimum (355 kil.), les valeurs moyennes des flèches sont respectivement :

	mètres.		
Pour le quarré	0,00247	ou	1
le cercle	0,00230		0,931
le rectangle . . .	0,00190		0,769
l'ellipse	0,00172		0,698

4° La rapidité de ce décroissement augmente avec *la* charge. Ainsi, pour la charge de 1,775 kil., on a en moyenne :

	mètres.		
Pour le quarré	0,01540	ou	1
le cercle	0,01270		0,824
le rectangle. . .	0,01105		0,717
l'ellipse.	0,00872		0,532

(1) Chacun des traits horizontaux de la quatrième colonne des tableaux précédents indique le point à partir duquel les écarts deviennent notables.

RÉSISTANCE AU CHOC (1).

Quand un prisme posé sur deux appuis est soumis à un choc vers son milieu, la théorie indique, en négligeant la masse du prisme, et en supposant qu'il n'y a pas séparation après le choc, que la limite de rupture n'est pas atteinte si le produit du poids choquant par sa hauteur de chute n'excède pas le demi-produit de la charge statique maximum par la flèche correspondante.

On conclut immédiatement de là que, sous la réserve des conditions admises par la théorie, la résistance au choc d'un prisme posé sur deux appuis est proportionnelle à son volume, et que les résistances des prismes semblables sont entre elles comme les cubes des côtés homologues; conséquences vérifiées, en effet, d'une manière approchée, par des expériences déjà anciennes.

Les plus récentes ont eu d'abord pour objet d'évaluer l'influence de cet élément : la masse.

Un prisme ne résiste à une charge en repos que par la mise en jeu des forces moléculaires; il résiste au choc, et par le développement de ces forces et par son inertie : il suffit donc pour augmenter cette résistance, d'augmenter son inertie

(1) Je citerai, au sujet du choc, un fait duquel on ne peut déduire aucune notion précise, mais qui indique du moins à quels chocs énormes la fonte pour résister dans certaines conditions de forme et de dimensions : pendant la manœuvre du déplacement de la grande presse après le levage du premier tube et avant celui du second, au pont de Britannia, le cylindre, pesant 13500 kil., tomba d'une hauteur de 42 mètres sur le rocher, puis au fond de l'eau. On le retira : il était intact; remis en place, il opéra le levage sans aucun accident.

sans augmenter sa cohésion; c'est-à-dire de le rendre solidaire avec des corps pesants, sans accroître son équarrissage. En le chargeant ainsi, on diminue sa résistance moléculaire disponible, mais cet effet est, dans certaines limites, compensé et bien au delà par l'accroissement de l'inertie. Le *prisme* devient plus faible contre un effort statique, mais bien plus fort contre un choc.

Dans les expériences faites par la commission d'enquête pour apprécier cette influence d'une masse additionnelle, des barres de fonte de $0^m,0762$ d'équarrissage, placées sur des appuis écartés de $4^m,148$, étaient rompues par le choc d'un poids de $137^k,38$; la hauteur de chute strictement nécessaire a été en moyenne : $0^m,762$.

Les barres pesaient en moyenne $181^k,36$.

En répétant l'expérience sur des barres identiques, mais chargées de poids de plus en plus considérables, on reconnut que la hauteur de chute devait être augmentée corrélativement, jusqu'à une certaine limite. Quand, par exemple, le poids additionnel atteignit la moitié de la charge *statique de rupture*, la hauteur de chute du boulet dut être doublée.

TABLEAU XVI.

CHARGES.	Hauteur de chute pour la rupture.	Vitesses correspondantes.
kil.	mét.	mét. par seconde.
0.	0,724	»
1,81 au milieu.	0,838	4,057
12,70 au milieu.	1,067	4,575
75,28 uniformément répartis + 1,81 au milieu.	1,219	4,893
176,37 *id.* *id.* *id.* *id.*	1,219	4,893
173,37 *id.* *id.*	1,219	4,893
177,28 *id.* *id.* + 1,81 au milieu.	1,676	5,737
433,45 *id.* *id.* *id.* *id.*	1,524	5,470

La commission a appliqué aux mêmes expériences un dispositif un peu différent et d'un usage plus commode. Les barres étaient appliquées contre deux appuis verticaux écartés de $4^m,267$: le boulet choquant, suspendu à un fil métallique de $5^m,48$, touchait, dans l'état de repos, le milieu de la barre. On graduait le choc en écartant plus ou moins le pendule de la verticale.

Ces expériences ont vérifié une des conséquences citées plus haut de la théorie, la constance de la résistance au choc pour des barres rectangulaires, quand le rapport des côtés varie à aire égale. Ainsi, il a fallu le même déplacement angulaire du pendule pour rompre deux barres : l'une quarrée, de $0^m,0762$ d'équarrissage; l'autre rectangulaire, de $0^m,152$ sur $0^m,038$; et deux barres de ces dernières dimensions ont exigé également un choc de même intensité, quelle que fût la face qu'elles présentaient à l'action du boulet.

La conséquence à déduire de ces faits n'est sans doute pas qu'on doive surcharger les solides exposés à recevoir des chocs et obtenir la résistance à ces actions accidentelles aux dépens de la *stabilité* relative aux charges normales, mobiles ou en repos; c'est par les dimensions même du solide, par sa cohésion et sa propre masse qu'il faut le placer au-dessus des chances de rupture par l'une et par l'autre action. Mais les résultats qui précèdent prouvent qu'on n'a pas à se préoccuper des chocs, quand il s'agit de solides qui doivent supporter des masses considérables, dépourvues ou non de cohésion : l'équarrissage déterminé par la seule considération des charges statiques suffit alors largement pour assurer la résistance aux chocs.

Les flèches dues aux chocs sont sensiblement

proportionnelles aux racines quarrées des hauteurs de chute, et par suite aux vitesses du boulet à l'instant du choc.

La commission a constaté, au moyen de l'appareil précédent, que la fonte ne paraît pas altérée après une série de 4.000 chocs tant que les flèches ne dépassent pas le 1/3 de la flèche maximum produite par un poids mort placé au milieu; mais que la rupture a toujours lieu avant que le chiffre de 4.000 soit atteint, quand le rapport des deux flèches s'élève à 1/2.

Des expériences faites au moyen d'une camme fixée sur un arbre auquel une machine à vapeur imprimait un mouvement de rotation régulier et aussi prolongé qu'on voulait, ont conduit à des résultats analogues (1). Des barres bien saines ont pu subir jusqu'à 100.000 flexions sans être altérées (c'est-à-dire sans que la charge statique de rupture éprouvât de diminution), tant que la flèche n'excédait pas la première limite indiquée; mais quand elle atteignait la seconde, la rupture avait généralement lieu après moins de 900 coups.

Effet des charges en mouvement.

Dans une première série d'expériences faites par la commission d'enquête, des barres de fonte de $0^m,0762$ de côté, placées sur des appuis distants de $4^m,267$, étaient chargées d'un poids auquel on imprimait un mouvement de va-et-vient peu rapide. Tant que le poids voyageur ne dépasse pas la moitié de la charge statique de rupture, la fonte peut résister indéfiniment à ce genre

(1) La barre recevant à peu près quatre coups par minute.

d'action. On a du moins constaté que les barres exemptes de défauts n'avaient rien perdu de leur résistance après 96.000 voyages du poids.

La seconde série d'expériences, exécutée à l'arsenal de Portsmouth, avait pour objet d'étudier entre des limites assez larges l'influence de *la* vitesse de la charge. Les barres étaient essayées par couple; elles formaient le prolongement d'une voie de fer qui s'élevait sur un plan incliné. Un chariot plus ou moins chargé passait sur les barres avec la vitesse plus ou moins grande qu'on lui imprimait à volonté, en faisant varier sa hauteur de chute. Une disposition très-simple enregistrait les flèches des barres.

Voici les résultats généraux des nombreuses observations faites par cette méthode :

1° La flexion produite par un poids voyageur est plus grande que la flèche correspondant au même poids placé au milieu de la barre ;

2° Cette flexion croît avec la vitesse; le point d'abaissement maximum n'est pas au milieu; il est reporté vers l'extrémité d'*aval*, et s'en rapproche d'autant plus que la vitesse est plus grande;

3° Le poids nécessaire pour produire la rupture diminue à mesure que la vitesse croît; pour de grandes vitesses il n'est plus qu'une faible fraction de la charge statique de rupture;

4° La rupture ne s'opère plus au milieu; il y a d'ailleurs souvent trois ou quatre ruptures simultanées.

1° *Flexion.*

TABLEAU XVII.

		mèt.
Longueur des barres entre les appuis	....	2, 148
Largeur id.	....	0, 102
Épaisseur id.	....	0, 038

Poids du chariot : 508 kilog.

Vitesse du chariot	Flèches.	Observations.
mèt. par seconde.	mèt.	
0	0,0152	Chariot immobile au milieu.
4,47	0,0203	
13,41	0,0361	Cette vitesse est la plus grande que l'appareil ait permis d'obtenir.

2° *Rupture.*

Le chariot étant placé au milieu, son poids devait être porté à 1.882 kilogrammes pour produire la rupture. A la vitesse de 13^{m},41, la rupture eut lieu dès que le poids atteignit 806 kilogrammes.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que ces résultats ne peuvent en aucune manière être généralisés, qu'ils seraient tout autres si l'on faisait varier les proportions des barres et le rapport de leur masse à celle de la charge en mouvement. On se ferait, par exemple, une idée bien fausse de l'influence qu'exerce sur la flexion d'un pont d'ouverture et par conséquent de masse considérables, la vitesse de la charge qu'il supporte, en appréciant cette influence d'après les observations précédentes faites sur des éléments si différents. La commission opérait sur un système très-flexible, et l'influence de la vitesse s'explique dès lors en partie

par le développement de la force centrifuge. La pression croissait avec la vitesse, la flèche avec la pression, et l'accroissement de flèche réagissait lui-même sur la force centrifuge et par suite sur la pression. Pour les systèmes très-rigides tels que les ponts, dont la flèche même de rupture serait relativement très-faible, la force centrifuge n'a plus d'influence appréciable, et par suite celle de la vitesse est fort atténuée, si même elle n'est négative, comme le prétendent quelques observateurs. Nous reviendrons du reste sur cette question en traitant du fer. La complication des phénomènes ne permet guère à la théorie de s'engager dans cette voie sans s'appuyer sur l'expérience; mais les utiles recherches de M. Poncelet sur le choc direct ou longitudinal des prismes ne permettent pas de douter des secours que la théorie peut offrir à cette partie d'une utilité très-directe et jusqu'ici négligée de la dynamique appliquée aux constructions.

—

NOTES DU MÉMOIRE PRÉCÉDENT.

NOTE (A).

Sur la rupture par ÉCRASEMENT *et par* GLISSEMENT *des solides comprimés.*

Un prisme très-court, comprimé, peut se rompre :
1° Par écrasement;
2° Par glissement (décomposition pyramidale).
γ' étant la résistance transverse,
R' la résistance à l'écrasement (c'est-à-dire la charge maximum par unité de surface que le prisme supporte réellement ou qu'il supporterait si la rupture *par glissement était* rendue impossible d'une manière quelconque), les charges nécessaires pour rompre par glissement et par écrasement un prisme ayant pour base l'unité de surface, pour hauteur l'unité de longueur, et pour pesanteur spécifique d, seront respectivement :

$$(1)\ P_g = \sqrt{2\gamma'(d+2\gamma')} - d,$$

$$(2)\ P_e = R' - d.$$

La rupture aura donc lieu par glissement toutes les fois qu'on aura $2\gamma'(d+2\gamma') < R''$.

Quand on observe la décomposition pyramidale, cela indique donc que R' est $> \sqrt{2\gamma'(d+2\gamma')}$. L'expérience ne donne pas alors la valeur de R', dont P_g n'est qu'une limite inférieure. Mais la valeur de la résistance transverse, mesurée directement (c'est-à-dire par un effort dirigé dans le plan de rupture), doit satisfaire à la relation (1).

Il n'en est plus de même pour les solides qui deviennent, suivant l'expression de M. Vicat, « presque pulvérulents sous la charge. » Pour ceux-ci, la limite de la résistance transverse n'est pas atteinte; tout ce qu'on sait, c'est que cette résistance est plus grande que la valeur de γ', que

donnerait l'équation $P_e = \sqrt{2\gamma'(d+2\gamma')}$. Il est donc clair que la valeur de la résistance transverse, et celle de la *force portante* (ou résistance à la compression) observée dans ces circonstances, ne doivent pas satisfaire à la relation (1), et c'est à tort que M. Vicat voit dans le défaut d'accord qu'il signale un argument contre la théorie. Il faudrait, pour que cette conclusion fût légitime, qu'elle s'appliquât à des valeurs des forces portantes obtenues avec des prismes présentant exclusivement la rupture par glissement, ce qui n'est pas. Les valeurs obtenues par M. Vicat sont beaucoup plus faibles que celles que donne la formule : il n'en pouvait être autrement. L'expérience lui donnait P_e, tandis que la formule donne P_g, qui est quelquefois plus petit, mais généralement plus grand ; car la rupture par *glissement* est l'exception, l'écrasement proprement dit est la règle (*).

Ce n'est donc pas « dans le composition des formules qu'il y a erreur, » mais dans le sens que M. Vicat leur a attribué.

Coulomb commettait, du reste, la même confusion quand il posait comme un principe général (**), que « le plus grand poids qu'une colonne puisse supporter sans se rompre est égal à deux fois la résistance à un effort *de traction* (***).

Note (B).

Sur le calcul des poutres en fonte.

En évidant les solides chargés transversalement on élimine la matière qui, trop rapprochée de l'axe neutre, ne travaillerait presque pas lors même que la limite de rupture serait atteinte pour les fibres extrêmes : et si l'épaisseur des deux plates-formes horizontales respectivement étendue et comprimée est assez petite relativement à l'épaisseur totale du solide, toutes les fibres, étant placées sensiblement à la même distance de l'axe neutre,

---

(*) Nous laissons de côté la rupture déterminée par la formation de fissures longitudinales, mode qui ne s'applique qu'aux corps fibreux.

(**) Mémoires des savants étrangers pour l'année 1773.

(***) *Ou de compression*, car Coulomb admettait, d'après quelques expériences assez imparfaites, l'égalité des résistances à l'extension et transverse pour les pierres.

travailleront également, toutes pourront développer le maximum d'effort que comporte la nature de la substance mise en œuvre.

Les nervures verticales ont pour objet principal de rendre solidaires les deux éléments essentiels de la résistance, de les empêcher de fléchir isolément. Quand ces nervures sont continues, elles concourent aussi *directement* à la résistance par les efforts d'extension et de compression qu'elles développent; mais si leur aire n'est qu'une faible partie de la section transversale du solide, la somme des moments de ces efforts n'est qu'une fraction beaucoup moindre encore de la somme des moments qui correspondent aux deux plates-formes horizontales : de sorte qu'on peut négliger la résistance propre des nervures, ce qui accroît, sans cependant les exagérer, les garanties de solidité.

Le calcul de l'équarrissage devient alors très-simple et indépendant de la position de l'axe neutre, ainsi qu'on le reconnaît par des considérations très-élémentaires.

On sait que la théorie de Mariotte et de Leibnitz, négligeant la compressibilité, admettait que la rotation des sections normales d'un prisme horizontal chargé de poids s'opérait autour d'un axe situé sur la face concave. Deux sections normales infiniment voisines, ab, AB (*fig.* 19), du solide libre devenaient, dans le solide fléchi, ab, A'B : la *somme* des allongements des fibres d'une tranche infiniment mince $b \times c \times ds$ était mesurée par le prisme triangulaire $\frac{1}{2}$ AA'$b \times c$, et la somme des forces moléculaires correspondantes par $E\,\dfrac{\frac{1}{2}\,AA' \times b \times c}{ds}$, ou par $\frac{1}{2}$ Rbc, puisque $\dfrac{AA'}{ds} = \dfrac{R}{E}$, (R étant l'effort d'extension des fibres extrêmes, rapporté à l'unité de surface). Le moment de ces forces était donc $\frac{1}{3}$ Rbc^2, et dans le cas, par exemple, d'un prisme encastré à un bout et chargé à l'autre d'un poids P, la valeur de P correspondant à une valeur donnée de R était obtenue en égalant ce moment au moment de flexion Pa, d'où $P = \frac{1}{3} R \dfrac{bc^2}{a}$.

La théorie actuelle tient compte de la compressibilité : elle considère que l'arête B doit céder à la pression,

que la matière est refoulée sur elle-même ; et si on admet qu'elle résiste également à l'extension et à la compression, si d'ailleurs la section est divisible symétriquement par une horizontale, il doit y avoir dans chaque état d'équilibre autant de fibres comprimées que de fibres étendues. L'allongement proportionnel des fibres extrêmes étant toujours le même pour une valeur donnée de R, la section A'B de la théorie de Mariotte devient A'B' (*fig*, 20), l'axe I étant au milieu de la hauteur. Le prisme AIA', qui mesure les efforts d'extension, est évidemment la moitié de AA'B : son bras de levier est aussi moitié moindre, de sorte que le moment des forces d'extension est quatre fois plus petit; mais le moment des forces de compression, égal au précédent, s'ajoutant à lui pour faire équilibre au moment de flexion, le moment d'élasticité total est, en définitive, moitié moindre que dans l'ancienne théorie, et on a : $P = \frac{1}{6} R \frac{bc^2}{a}$.

Mais si les deux résistances élémentaires ne sont plus égales, si comme cela a lieu pour la fonte, leur rapport change avec l'intensité commune des efforts directs, la position de l'axe I n'est plus connue : elle varie avec la charge : elle varie, à charge égale, d'une section à l'autre : la surface A'B' n'est même plus plane, et la relation qui lie la charge aux efforts maxima d'extension et de compression ne peut plus être établie.

Cette difficulté disparaît, dans les conditions indiquées plus haut, pour les solides évidés, parce que les points d'application des résultantes des forces d'extension et de compression sont alors connus à très-peu près.

Les valeurs R, R' des efforts pratiques étant connues, la solidité doit être vérifiée, et sous le rapport de l'extension et sous le rapport de la compression. Une partie quelconque NMA'B' du solide (*fig*. 21) peut être considérée comme un levier coudé sollicité par la force P et qui doit être maintenu en équilibre, soit autour de l'axe K par les forces d'extension, soit autour de l'axe Z, par les forces de compression, les axes passant respectivement par les points d'application des résultantes de ces forces. Or, quelles que soient la forme de la surface A'B' et la position de l'axe I, les forces d'extension et de compression sont mesurées par deux prismes dont les bases AA'*d*, BB'*b* dif-

fèrent très-peu des rectangles ayant par côtés, l'un e et AA', l'autre e' et BB'. On a donc :

1° Pour l'extension, $$P = \frac{beR}{a}\left(H + \frac{e+e'}{2}\right);$$

2° Pour la compression, $$P = \frac{b'e'R'}{a}\left(H + \frac{e+e'}{2}\right)$$

équations qui déterminent les épaisseurs e, e', les largeurs b, b' étant prises abitrairement dans certaines limites, et H aussi grand que le permettent la nécessité plus ou moins impérieuse de réduire l'épaisseur de l'ouvrage, celle de laisser à la nervure toute son efficacité sans exagérer ses dimensions, etc.

Il résulte de ces conditions que les aires be, $b'e'$ des deux plates-formes doivent être en raison inverse des résistances directes : les constructeurs anglais sont en effet dans l'usage d'établir à peu près cette relation dans le profil des poutres en fonte à double T, quand la partie comprimée est suffisamment garantie contre tout gauchissement.

Le même mode de calcul s'applique aux poutres mixtes composées de châssis triangulaires évidés en fonte dont les bases juxtà-posées et boulonnées forment la partie supérieure ou comprimée de la poutre, tandis que les sommets sont reliés par des tirants et quelquefois par des maillons articulés en fer (*). L'équarrissage des bases en fonte et celui des tirants se calculent en attribuant à R' la valeur relative à la fonte, et à R celle relative au fer : les côtés des triangles jouent d'ailleurs le même rôle que les nervures longitudinales des poutres simples.

Quant aux poutres formées d'un arc en fonte (ou en fer) *à très-petite flèche*, avec tirants en fer, les formules relatives à un arc de cercle surbaissé, chargé d'un poids uniformément réparti, peuvent leur être appliquées. L'équarrissage de l'arc, plein ou évidé, est donc donné par la condition

$$R' = P\left(\frac{1}{s\varphi} + \frac{Vr}{I}\cdot\frac{1}{24}\varphi^3\right) \quad (**)$$

(*) On trouve en Angleterre plusieurs exemples de cette disposition.

(**) P est la moitié du poids réparti sur l'arc, ou sur sa corde.
φ, le demi-arc, mesuré dans le cercle dans le rayon en 1.
s, la section de l'arc. — I, le moment d'inertie de cette section.
V, la distance des fibres extrêmes à l'axe neutre. — r, le rayon.

et la poussée horizontale ayant pour expression $\frac{P}{\varphi}$, l'équarrissage s' des tirants est donné simplement par : $R = \frac{P}{\varphi} \cdot \frac{1}{s'}$.

Quand l'arc est assez surbaissé pour qu'on puisse prendre pour sa longueur celle de son sinus, ces expressions deviennent, l étant la $\frac{1}{2}$ ouverture et f la flèche,

$$R' = P\left(\frac{l}{2fs} + \frac{1}{6}\frac{V}{I}\frac{f^2}{l}\right),\ R = \frac{Pl}{2fs'}.$$

D'où, pour un arc rectangulaire plein de côtés b et c,

$$R' = \frac{Pl}{2fbc}\left(1 + \frac{2f^2}{l^2} \cdot \frac{f}{c}\right).$$

$\frac{2f^2}{l^2}$ étant très-petit devant 1, et $\frac{f}{c}$ ne dépassant généralement pas quelques unités pour les arcs très-surbaissés, cette expression se réduit sensiblement à $\frac{Pl}{2fbc}$; l'arc et le tirant peuvent donc être calculés au moyen de la même formule.

Pour un arc évidé, on a de même (b représentant sa largeur *réduite*, s'il est évidé dans les deux sens comme un parallélipipède dont les arêtes seules subsistent)

$$R' = \frac{Pl}{2fb(c'-c)}\left(1 + \frac{2f^2}{l^2} \cdot \frac{f}{c' + c + \frac{c^2}{c'}}\right),$$

et le deuxième terme entre parenthèses peut mieux encore que pour les solides pleins être négligé devant 1, car $\frac{f}{c' + c + \frac{c^2}{c'}}$ est ordinairement plus petit que 1. Pour les poutres de la gare de l'Ouest (*), par exemple, on a

$$l = 5^m,50,\quad f = 0^m,50,\quad c' = 0^m,36,\quad c = 0^m,27;$$

(*) La particularité à remarquer dans ces poutres consiste dans la disposition des tirants. Ils se composent : 1° de deux sous-tendeurs

d'où

$$\frac{f}{c'+c+\frac{c^2}{c'}}=0{,}6, \quad \text{et} \quad \frac{2f^2}{l^2}\cdot\frac{f}{c'+c+\frac{c^2}{c'}}=0{,}017,$$

quantité négligeable devant 1 (*).

On sait que la pression tangentielle d'un arc parabolique d'ouverture $2l$, de flèche f, posé sur des appuis, maintenu latéralement et chargé uniformément d'un poids $2P$, a pour expression :

au sommet, où elle est minimum,

$$T=\frac{Pl}{2f},$$

et à la naissance, où elle est maximum,

$$T=\frac{Pl}{2f}\sqrt{1+\frac{4f^2}{l^2}},$$

valeurs qui diffèrent très-peu pour un arc très-surbaissé,

---

en fer rond; 2° de deux grandes feuilles de tôle larges de 0m,50 et épaisses de 0m,005, qui enveloppent sur presque toute leur hauteur les plaques de retombée et l'arc lui-même. Leur tension s'oppose ainsi à tout déversement de l'arc, et donne à la poutre une grande stabilité latérale.

Quant à l'emploi de voussoirs en fonte évidés, on conçoit difficilement qu'il ait pu être présenté récemment par quelques industriels comme une conception nouvelle et comme constituant leur propriété exclusive. S'il y a une idée qui soit dans le domaine public, c'est assurément de faire travailler la fonte seulement par compression : et la disposition du métal en voussoirs *réduits à leurs arêtes* n'est pas plus nouvelle. M. Vauvilliers l'avait proposée par le pont de Cubzac, et il avait fait construire, à Bordeaux, un voussoir en fer dont il a déterminé la résistance à l'écrasement. (Voir Duleau, *Essai sur la résistance du fer*, page 43.)

(*) Ces poutres ont été soumises à une charge d'épreuve de 42.000 kil.; elles pèsent 2.322 kil. On avait donc

$$P=22.161 \text{ kil.}, \quad \frac{P}{\varphi}=121.885 \text{ kil.}$$

La section de l'arc étant 8.100 mill. q., on a pour la pression par millimètre quarré, 15 kil., en supposant cette pression uniformément répartie. Il est facile d'ailleurs d'évaluer la pression maximum, par unité de surface, dans l'hypothèse d'un déplacement de la courbe, déplacement toujours très-faible pour un arc aussi rapproché de la forme d'équilibre, et qui n'éprouve pas de tassement sensible.

$\frac{4f^2}{l^2}$ étant négligeable devant 1. L'équarrissage de l'arc est donc donné par la condition

$$R' = \frac{Pl}{2fs},$$

et celui des tirants, par

$$R = \frac{Pl}{2fs'},$$

comme pour l'arc de cercle. Et en effet, quand l'angle au centre est très-petit, l'arc de cercle se confond très-sensiblement avec l'arc parabolique de même ouverture et de même flèche ; il affecte à très-peu près la forme d'équilibre, et ne tend pas à fléchir.

Il est clair que le tracé de la courbe des pressions, si usité pour les voûtes, s'applique également aux arcs métalliques, continus ou non ; mais quand ils sont assez surbaissés, l'expression $\frac{P}{\varphi}$ donne immédiatement la valeur de la poussée, et il est facile de reconnaître, en traitant quelques exemples, que la formule et la méthode graphique donnent à très-peu près les mêmes valeurs.

Réciproquement, l'expression $\frac{P}{\varphi}$, à laquelle on arrive par la considération des arcs élastiques continus, peut aussi être appliquée aux voûtes à petite flèche et extràdossées parallèlement : elle est même alors d'un usage plus sûr que les valeurs laborieusement calculées des tables; mais cette discussion s'écarterait trop de l'objet de cette note.

NOTE SUR L'ISOMORPHISME HÉTÉROMÈRE.

Par M. J. D. DANA (1).

J'ai publié dans un volume de *l'American journal of science and arts* (2) diverses considérations sur le volume atomique de certains groupes isomorphes de minéraux, et j'ai fait voir en outre que la relation déjà admise est beaucoup plus exacte, quand on divise le volume atomique par le nombre total des atomes ou des molécules du composé que l'on considère. Ainsi pour FeO, je divise par 2 le volume atomique obtenu comme à l'ordinaire, ce qui réduit en réalité le composé à l'unité ou à $Fe^{1/2} O^{1/2}$; de même, pour Fe^2O^3 je divise par 5, et le composé consiste par conséquent en $Fe^{2/5} O^{3/5}$ dans lequel la somme des fractions en exposants est égale à l'unité.

En procédant ainsi, on reconnaît que les feldspaths ont à peu près le même volume atomique ou du moins qu'il y a une relation entre leur volume atomique et leur système cristallin; le système manométrique qui est celui de la Leucite, a le volume atomique le plus élevé; le système

(1) Cette note a été traduite par M. Delesse d'après une communication manuscrite de M. Silliman Junior.

(2) Silliman. *American Journal of science and arts*, 1850, p. 220.

monoclinique a un volume atomique inférieur à celui du système précédent, et enfin le système triclinique a le volume atomique le plus faible.

Cette méthode donne surtout des résultats remarquables quand on compare des composés formés d'éléments semblables, tels que des silicates. Les analyses de tourmalines faites récemment par M. Rammelsberg vont nous en fournir un exemple; ce chimiste divise la tourmaline en cinq groupes chimiques auxquels correspondent les formules et les volumes atomiques qui sont donnés par le tableau suivant (1):

	Formules.	Vol. atomique calculé.
I	$R^3 (\dddot{Si}^2 \dddot{B}^2) + 3 \ddot{R} (\dddot{Si} \dddot{B})$	1808
II	$R^3 (\dddot{Si}^2 \dddot{B}^2) + 4 \ddot{R} (\dddot{Si} \dddot{B})$	2217
III	$\dot{R}^3 (\dddot{Si}^6 \dddot{B}^2) + 6 \ddot{R} (\dddot{Si} \dddot{B})$	3013
IV	$R (\dddot{Si} \dddot{B}) + 3 \ddot{R} (\dddot{Si} \dddot{B})$	1464
V	$\dot{R} (\dddot{Si} \ddot{B}) + 4 \ddot{R} (\dddot{Si} \dddot{B})$	1850

Il observe que les nombres 2217, 1464, 1868, 1850, 3013, sont entre eux comme les nombres : 1 : 1,24 : 1,26 (2) : 1,51 : 2,06, ou plus simplement :: 1 : 1 1/4 : 1 1/2 : 2 ou :: 4 : 5 : 6 : 8. Mais si nous divisons maintenant les volumes atomiques calculés par M. Rammelsberg par le nombre d'atomes des divers éléments qui se trouvent dans chaque groupe de tourmalines, nous aurons les volumes atomiques réels de chacun de ces groupes, et on peut voir qu'ils sont parfaitement égaux entre eux :

(1) Pogg. Ann., t. XXXI, p. 31.

(2) 1,26 a été substitué à 1,25.

Formule.	Nombre d'atomes.		Volume atomique calculé par le nombre d'atomes.		Quotients, ou volumes atomiques réels.
I	(1) 41	. . . .	1808	=	44,1
II	50	. . . .	2217	=	44,34
III	68	. . . .	3013	=	44,31
IV	33	. . . .	1464	=	44,36
V	42	. . . .	1850	=	44,05

Cette égalité est certainement très-remarquable et l'identité que présentent les divers cristaux de tourmaline doit avec raison lui être attribuée.

J'observerai de plus que les nombres d'atomes 33, 41, 42, 50, 68 sont entre eux comme 1 : 1,24 : 1,27 : 1,51 : 2,06 ou :: 4 : 5 : 6 : 8, c'est-à-dire comme les rapports obtenus par M. Rammelsberg pour les volumes atomiques de la tourmaline; par conséquent les rapports 4 : 5 : 6 : 8 trouvés par ce chimiste ne sont en réalité que les rapports entre les nombre d'atomes 33 : 41 : 50 : 68 contenus dans chaque groupe de tourmalines.

---

(1) *D'après cette première formule*, $\dot{R}^3$ contient 6 atomes ou molécules : $\dddot{Si}^2$ en contient 8 ; $3\dddot{R}$, 15 ; $3\dddot{Si}$, 12 ; par conséquent, dans le premier groupe de tourmalines, il y a en tout 41 atomes.

ESSAI

d'une description géologique de l'île de Jersey.

Par M. Abel TRANSON, ingénieur des mines.

I.

Configuration et aspect de l'île.

Jersey, la principale des îles de la Manche, offre à peu près la forme d'un rectangle. Sa longueur, de l'Est à l'Ouest, est de 15 à 16 kilomètres, et sa largeur moyenne de 8. Elle est comprise à très-peu près entre les 49° 10' et 49° 16' de latitude septentrionale, et entre les 4° 22' et 4° 36' de longitude occidentale (1).

Je vais décrire l'aspect général du pays et sa configuration en faisant le tour de l'île.

Toute la côte Nord, depuis la pointe de Verclut à l'Est, jusqu'au cap Gros-Nez à l'Ouest, est bordée de falaises élevées et abruptes, n'offrant parmi de nombreuses anfractuosités que quelques criques pour abriter de simples barques. Cependant le mouillage de la baie de Boulaye sur cette côte pourrait être transformé en un port assez sûr. C'est même à quoi on avait sérieusement pensé à une autre époque, comme l'atteste une jetée

(1) Ainsi, elle est traversée par les parallèles de Bayeux, Caen, les Andelys, Senlis, ... et par les méridiens de Dinan, Redon, Paimbeuf.

inachevée. Mais on a renoncé à ce projet, probablement à cause des difficultés de communication avec l'intérieur de l'île; car on ne descend à la baie de Boulay que par une gorge assez rapide. Sous tous les rapports, la baie de Sainte-Catherine, qui s'ouvre à l'Est de l'île, à la suite d'une petite vallée, offrait bien plus d'avantages. Aussi, est-ce le point que le gouvernement anglais a définitivement choisi pour y construire un port militaire dont les travaux sont poursuivis avec beaucoup d'activité en ce moment (août 1850).

La forme abrupte des falaises du Nord subsiste sur une partie de la côte Ouest, c'est-à-dire à partir du cap Gros-Nez, jusqu'au village appelé l'Etacq, ou Le Tacq. Là commence la baie de Saint-Ouen qui occupe tout ce côté de l'Ouest jusqu'à la pointe du Sud-Ouest que les roches appelées Corbières prolongent au loin dans la mer. Dans cette baie, le sol, à partir du rivage, s'élève en pente douce jusqu'à une distance de 5 à 600 mètres. Les vents d'Ouest y poussent des sables qui en font un pays triste et aride. On peut voir sur les cartes que la ligne de ce rivage présente une analogie singulière avec la forme de quelques plages dont l'exposition est semblable; par exemple avec la baie d'Audierne dans le Finistère; ou même avec la côte de la grande baie de Gascogne.

Des Corbières à la pointe de Noirmont (partie Sud-Ouest de l'île), les falaises quoique moins élevées qu'au Nord, ne sont pas moins abruptes. Profondément déchirées, revêtues d'une teinte d'un rouge chaud, elles offrent un aspect d'une âpreté inexprimable, et dont l'œil n'est pas suffisamment reposé par la nature calme, mais pauvre, de la baie de Saint-Brelade. Aussi éprouve-t-on un contraste

saisissant lorsque, venant de Guernesey par un beau ciel, on double la pointe de Noirmont pour entrer dans la magnifique baie de Saint-Aubin.

De la tour de Noirmont à la petite ville de Saint-Aubin, la côte court du Sud au Nord. Elle est encore rapide et à peu près inaccessible; mais elle commence à se parer d'une riche végétation. Au-delà de Saint-Aubin, la ligne du rivage suit encore la même direction; puis en s'infléchissant successivement à l'Est et au Sud-Est, elle arrive à Saint-Hélier, capitale de l'île; mais là elle est brusquement interrompue par le *mont de la Ville*.

On a donné ce nom (*Town-Hill*) à une colline, étroite, abrupte, élevée d'environ 50 mètres. Sa longueur, d'environ 400 mètres, est dirigée perpendiculairement au rivage, c'est-à-dire du Nord-Est au Sud-Ouest. Elle s'avance dans la mer en s'abaissant progressivement jusqu'à la pointe du Pas qui forme son extrémité au Sud-Ouest.

Au delà de Town-Hill, le rivage reprend sa direction de Nord-Ouest à Sud-Est, dans la petite baie de Saumarez jusqu'à la pointe de Lamotte.

Le port de Saint-Hélier est au pied du mont de la Ville, et la ville elle-même s'étend au Nord du mont dans la vallée de Saint-Sauveur. Car c'est une circonstance à noter que le mont de la Ville ne se lie pas d'une manière continue avec les parties hautes de l'île. Au contraire, il s'arrête brusquement au Nord (1) et là même est sa plus grande altitude; puis il s'abaisse progressivement vers la mer.

---

(1) En 1806, lorsque le gouvernement anglais acheta aux états de Jersey le mont de la ville pour y construire le Fort-Régent, il le fit couper à pic de plusieurs côtés, et

La pointe de Noirmont à l'Ouest et la pointe du Pas à l'Est forment donc les limites de la baie de Saint-Aubin. Sur la ligne qui va de l'une à l'autre, mais plus rapprochés de la seconde, sont deux îlots qui sont réunis à la terre ferme à la basse-mer. Le moindre de ces îlots porte quelques ruines où la tradition de l'île place l'ancien ermitage de Saint-Hélier; sur l'autre s'élève le château d'Élisabeth, qui contribue à défendre l'entrée du port et auquel s'attache quelque intérêt historique comme ayant servi d'asile à Charles II. Une chaussée naturelle unit les deux îlots au rivage. C'est une ligne de rochers formant une légère saillie au-dessus du sable fin qui partout ailleurs dans cette baie couvre la grève. Cette chaussée que couvre la haute mer est à peu près parallèle à la direction du mont de la Ville, et elle s'aligne sensiblement avec les collines qui limitent le côté Ouest de la vallée de Saint-Sauveur.

Au fond de la baie, une route bien ombragée et que sillonnent sans cesse des voitures élégantes, unit Saint-Hélier à Saint-Aubin, en suivant presque exactement le bord de la mer. Au delà, des collines verdoyantes parsemées de nombreuses villas et couronnées d'une végétation puissante, s'élèvent en amphithéâtre, laissant deviner çà et là plutôt qu'apercevoir les issues de quelques fraîches vallées.

Pour tous ceux qui connaissent l'aspect aride de la plupart des rivages français de la Manche,

---

notamment vers le Nord, afin de le rendre moins accessible; mais cette circonstance n'a fait que mettre plus en relief la disposition primitive du terrain; elle n'infirme pas nos remarques.

c'est un spectacle frappant que cette riche verdure qui descend jusqu'à la mer. Toutefois, l'étonnement diminue lorsqu'on remarque que l'île offre les mêmes aspects que nos côtes dans ceux de ses rivages qui ont la même exposition, c'est-à-dire au Nord et à l'Ouest. D'ailleurs une circonstance importante contribue à donner aux rivages de l'Est et du Sud un caractère particulier; c'est que le relief général de l'île est celui d'un plateau sensiblement incliné vers le Sud-Sud-Est. C'est à cette configuration qui l'abrite des vents du Nord et de l'Ouest que Jersey doit en grande partie sa fertilité (1). Pour bien juger de cette disposition, il faut monter à la Tour-d'Auvergue, sur la Hougue-bie, paroisse de Grouville. De cette hauteur, on ne voit que cette pente si bien exposée qui d'ailleurs constitue la majeure partie de l'île.

Vu ainsi d'ensemble, le pays rappelle les plus belles parties du bocage Normand. De toutes parts s'élèvent de grands et beaux arbres, non réunis en futaies, mais bordant les routes et séparant les propriétés particulières. Les essences dominantes sont le hêtre, l'orme et le chêne. Dans les parties basses de l'île au Sud-Est, c'est-à-dire dans les paroisses de Grouville et de Saint-Clément, la fréquence des pommiers est comme un autre souvenir de la Normandie. Mais ce qui caractérise plus particulièrement Jersey, ce qui excite la juste admiration des étrangers, c'est la beauté de ses routes, si parfaitement entretenues, partout ombragées d'une élégante verdure comme les allées

(1) Par suite d'une disposition inverse, la végétation est extrêmement pauvre dans l'île voisine de Guernesey.

d'un grand parc, et conduisant presque toujours soit à de riches manoirs, soit à des habitations plus simples, mais où respire l'aisance et où brille une exacte propreté.

Ainsi que je l'ai dit, le relief du sol est celui d'un plateau dont l'inclinaison est dirigée entre le Sud et le Sud-Est. Mais cette pente n'est pas à beaucoup près assez rapide pour descendre sans discontinuité des hautes falaises du Nord à la grève de Saint-Aubin et à celle de Grouville. Aussi le plateau s'arrête-t-il au sommet des hauteurs qui dominent les deux baies de ce nom, se prolongeant un peu (mais en continuant de s'abaisser) dans la partie intermédiaire, vers Saint-Clément. Il faut aussi noter cette circonstance que les collines formant la limite du plateau au Sud-Est, dans les paroisses de Saint-Clément et de Grouville, laissent depuis leur pied jusqu'à la mer un assez grand espace occupé par des prairies. De sorte que pour un navigateur faisant le tour de l'île, l'aspect de riche végétation et de collines à pentes douces observé depuis Saint-Aubin se maintiendrait jusqu'au milieu de la côte Est, c'est-à-dire jusqu'au port de Gorey, que domine le fort de Montorgueil et qui forme l'extrémité Nord de la baie de Grouville. A cet endroit, le bord du plateau central après avoir suivi sur une assez grande longueur (depuis les confins du canton de Longueville) la direction générale du Sud-Ouest au Nord-Est, arrive à joindre le rivage. Depuis là les côtes se présentent de nouveau très-rapides; toutefois elles demeurent encore riantes et bien boisées jusqu'à l'extrémité Nord de la baie de Sainte-Catherine, c'est-à-dire jusqu'à la pointe de Verclut.

II.

Résumé sur la constitution géologique. — Publications antérieures.

Sur un terrain de syénite, un schiste argileux, alternant quelquefois avec une grauwacke à grains fins, ayant pour direction moyenne de S. 29° O. à N. 29° E ; ce schiste en plusieurs endroits soulevé, contourné et brisé par les expansions d'une roche qui présente tous les passages entre une véritable syénite et un porphyre quartzeux, ce même schiste subissant aux approches de la roche éruptive un métamorphisme qui d'abord soude ses feuillets l'un à l'autre, puis lui fait perdre jusqu'à l'apparence d'une roche stratifiée, et enfin le transforme progressivement tantôt en un porphyre argileux à cristaux de feldspath, tantôt en une roche amygdaloïde. Ensuite, un poudingue et un grès; le poudingue en masses de 40 à 50 mètres de puissance sans stratification distincte; le grès en couches de moindre épaisseur, mais dont la stratification, quelquefois manifeste, est discordante avec celle du schiste mentionné ci-dessus; enfin tout le plateau de l'île recouvert d'un diluvium composé d'une terre meuble, jaunâtre, argilo-siliceuse, dont l'épaisseur varie de 1 à 2 ou 3 mètres. Tel est en peu de mots le résumé des faits que j'ai observés à Jersey et dont j'exposerai le détail. Mais je dois avant tout mentionner ici les travaux antérieurs dont j'ai pu profiter.

En premier lieu, M. Macculloch, de la Société géologique de Londres, a fait paraître en 1817, dans le premier volume des *transactions* de cette société, une description de Guernesey et des autres îles de la Manche, *account of Guernsey, and the*

other channel Islands. L'attention de l'auteur paraît s'être portée principalement, comme le titre l'annonce, sur Guernesey, ou plutôt même sur la petite île de Sercq. Aussi Jersey occupe-t-il peu de place dans son mémoire. Il se borne à peu près à y constater l'existence du schiste superposé à la syénite, et celle d'un poudingue ou brèche argileuse, *argillaceous breccia*. De plus, il marque une fois sur la carte un porphyre feldspathique, *hornstone porphyry*.

En 1817, M. Plees a publié un ouvrage historique et descriptif sur Jersey : *An account of the island of Jersey*. Dans le chapitre intitulé : *mineralogy*, M. Plees reproduit d'abord les indications données par M. Macculoch en les modifiant par quelques réflexions qui lui sont propres. Ensuite, il publie une note intéressante dans laquelle M. Kœnig, du musée britannique, s'étend sur la description des roches précédemment signalées et de plus fait connaître l'existence du porphyre argileux et de la roche amygdaloïde.

J'ignore si d'autres travaux ont été publiés relativement à la géologie de Jersey, mais je crois pouvoir remarquer dès à présent qu'aucun de ces trois auteurs n'a mentionné le grès fort remarquable dont j'aurai à parler. D'ailleurs, sauf la superposition manifeste des schistes à la syénite, ils ont négligé de constater la situation relative des roches, se bornant à les décrire sous le point de vue minéralogique (1).

(1) Depuis la composition de mon travail, j'ai eu connaissance d'une note de M. Austen publiée dans le rapport sur le 19e congrès de l'association britannique : *Notes on the geology of channel Island by R. A. C. Austen*. L'auteur y a principalement décrit l'île de Guernesey.

III.

Syénites et porphyres quartzeux.

Toutes les côtes de l'île au Nord-Ouest et au Nord, depuis l'Étacq dans la paroisse de Saint-Ouen, jusqu'aux belles carrières de Mont-Mado de la paroisse Saint-Jean, à l'Ouest de la pointe de Frémont, sont de roche syénitique. Ajoutons de suite que presque toujours le mica se présente conjointement avec l'amphibole.

A Mont-Mado, la roche est d'un très-beau grain, à gros cristaux, très-dure, et toutefois se taillant bien; pouvant d'ailleurs s'obtenir en blocs de toute dimension ; aussi est-elle fort employée dans l'île et exportée pour l'Angleterre (1).

A la pointe de Plémont, au Nord-Ouest de l'île, le feldspath est plus rose qu'à Mont-Mado; mais à l'Est de Plémont, il y a dans la falaise une syénite d'un gris bleuâtre dont l'aspect et la structure rappellent absolument les granites de Flamanville et des îles Chauzey (n° 4 de la collection) (2).

---

(1) Elle offre d'une manière distincte : 1° feldspath rose pâle, c'est l'élément le plus abondant; 2° feldspath blanc ; 3° quartz vitreux en forte proportion ; 4° cristaux d'amphibole; 5° quelques paillettes de mica très-noir (n° 1 de la collection déposée au collége de France). Au cap Frémont, voisin des carrières de Mont-Mado, l'élément 2° ci-dessus a presque complétement disparu, ainsi que 4° et 5°. Aussi la roche est-elle beaucoup plus rouge; elle est en même temps d'un grain plus serré n° 2.

(2) A la pointe de Plémont, on voit dans la syénite un filon de roche amphibolique altérée dans la direction de O. 33° S. à E. 33° N. et d'une épaisseur d'environ 0m,2. Cette singularité se reproduit dans d'autres parties de l'île,

A l'Étacq, la roche exploitée est également fort belle. Le quartz y est abondant; le feldspath en gros cristaux d'un blond cendré donne à la masse sa teinte générale, on y voit à peu près autant de mica que d'amphibole, l'un et l'autre en très-petite quantité.

Une roche tout à fait semblable à celle de l'Étacq se voit dans la baie de Saint-Brelade, à l'opposite de l'église. Elle y est également l'objet d'une exploitation active. On remarque qu'elle est souvent traversée par des veines ou filons de quelques centimètres d'épaisseur d'une autre roche cristallisée à texture très-serrée, d'une couleur rose vif qui tranche fortement sur le gris cendré de la masse, et qui paraît formée en proportions à peu près égales de feldspath rose prédominant qui lui donne sa couleur et de quartz vitreux, le tout parsemé de quelques points noirs très-petits et très-rares (n°s 11 et 12).

Cette roche rose qui paraît n'être ici qu'accidentelle se retrouve en masse de l'autre côté de la baie de Saint-Brelade. Elle y forme notamment la base du petit fort qui commande l'entrée de la baie (n°s 13, 14, 15, 16, 17). Elle paraît même constituer toutes les falaises à la suite vers l'Ouest dans le canton de La Moye et probablement aussi les rochers des Corbières à la pointe Sud-Ouest de l'île. Il s'en faut d'ailleurs qu'elle soit partout identique. Ainsi les petits cristaux noirs y deviennent parfois plus nombreux ou bien le feldspath y devient compacte et le quartz y est en

comme on le verra plus loin. Le filon dont il s'agit ici se voit à la presqu'île de Plémont, en sortant de la porte qui ferme l'isthme, en travers du chemin.

Körner de

alités :

EXPLICATION DE

de la préparation mécaniqu

iche, tenant de 20 à 25 po

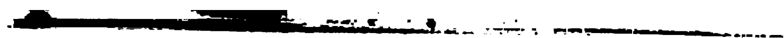
, tenant 8 pour 100 de galèn

uvre;

ur les sables et schlamms;

ur les sables fins;

les grenailles.



cristaux isolés; elle passe alors à un véritable porphyre quartzeux (n°s 14, 16 et 17).

La structure porphyrique se manifeste de plus en plus à mesure que s'éloignant de la baie de Saint-Brelade, on se dirige vers le canton voisin dit des *Quenvais*. Mais en même temps le feldspath s'altère, et la teinte rose uniforme est remplacée par des taches contiguës d'un jaune pâle et d'un rouge sanguin dont le contraste est d'un bel effet (n°s 20, 21, 22) (1).

Ainsi une première roche syénitique à gros grains, d'aspect et de structure à peu près uniforme dans tout le Nord-Ouest de l'île, depuis la pointe de Frémont (paroisse Saint-Jean), jusqu'au village de l'Étacq (Saint-Ouen); cette roche reparaît comme je l'ai dit à la partie Est de la baie de Saint-Brelade. J'ajoute ici qu'elle constitue la pointe de Noirmont entre cette baie et celle de Saint-Aubin, et se montre jusqu'aux environs de la petite ville de ce nom où elle est recouverte par le schiste argileux. Cette même roche à gros cristaux se voit également au fond de la baie de Sainte-Brelade où elle ferme quelques rochers qui s'élèvent au milieu de la grève. On la retrouve encore à l'Est du mont de la ville dans les cantons de Saumarez et de Longueville (n°s 33, 34, 35).

En second lieu, une autre roche à grains très-fins et très-serrés, passant par degrés de la structure granitoïde à la structure porphyrique. Celle-ci formant les falaises à la partie Ouest de la baie de Saint-Brelade, mais se manifestant déjà dans

---

(1) Quelques autres altérations remarquables sont signalées dans la collection des roches. Voir notamment le n° 23.

la partie Est de la même baie, par veines injectées dans la roche cristalline à gros cristaux.

C'est à l'éruption d'une autre roche cristalline que je crois pouvoir attribuer la formation du Mont de la Ville, comme aussi les métamorphismes si remarquables du schiste argileux dans la vallée de Saint-Sauveur (au § IV).

La masse du *Mont de la Ville* est en effet formée d'un syénite rougeâtre, à petits cristaux, avec ses trois éléments distincts. La texture en est beaucoup plus serrée que celle du Mont-Mado, et la couleur plus sombre (n° 28). Une roche identique forme la proéminence sur laquelle est bâti le château de Montorgueil à Gorey, proéminence à peu près isolée comme celle du mont de la Ville, à la côte Est de l'île (n°s 30 et 31).

Il faut noter au mont de la Ville la présence d'une roche d'un vert foncé, de composition homogène, à texture très-serrée. Cette roche verte paraît comme soudée fortement à la roche rouge brun sans se fondre avec elle (n° 29).

Le même phénomène est plus frappant encore aux îlots d'Élisabeth et de l'Ermitage. La ligne de rochers qui les unit à l'île est de même nature que le mont de la Ville, aussi bien que ces îlots eux-mêmes dont les formes sont très-abruptes de tous côtés. La roche verte et la syénite rougeâtre y sont à peu près en proportions égales. Pour se représenter leur relation, il suffit d'imaginer que la roche verte était préexistante; qu'elle a été brisée en blocs de toute grosseur et ces blocs empâtés dans la syénite sans avoir perdu leur forme anguleuse. C'est comme une brèche à ciment syénitique et à grands fragments, ceux-ci très-fortement soudés à la pâte, au point de ne pas s'en

séparer dans la cassure de la masse (nᵒˢ 49 et suivants).

Les mêmes faits sont très-développés à la pointe de la Motte, à l'extrémité de la baie de Saumarez, paroisse de Saint-Clément, partie Sud-Est de l'île. J'ajoute seulement que la roche verte, qui est généralement d'une couleur très-foncée au mont de la Ville, est souvent plus pâle au château d'Élisabeth et à la pointe de Lamothe. Elle a quelquefois dans ces deux localités une nuance qui rappelle l'épidote (nᵒ 56).

Au § VII, j'aurai l'occasion de revenir au mont de la Ville pour y signaler la présence d'un filon formé par une roche fortement micacée.

IV.

Schiste argileux normal et métamorphique. — Porphyres argileux et roche amygdaloïde.

Les hauteurs de la baie de Saint-Aubin, depuis le mont Patibulaire qui touche à Saint-Hélier et qui domine à l'Ouest le débouché de la vallée de Saint-Sauveur, jusqu'au delà de la ville de Saint-Aubin, offrent un schiste argileux qu'on retrouve également dans toutes les petites vallées qui aboutissent à la baie.

Ce schiste dans son état normal, c'est-à-dire avec une structure feuilletée, se délitant aisément, happant à la langue et y développant fortement l'odeur et la saveur argileuses, se montre à mi-côte au-dessus de Saint-Aubin. Là même il alterne avec des lits d'une roche plus dure dont la structure paraît être arénacée. Dans quelques couches on aperçoit des noyaux plus ou moins arrondis de même nature que la masse et qui marquent

une tendance de la roche à passer à une sorte de poudingue argileux (nos 61 et suivants).

Au-dessous de Saint-Aubin, vers la grève, le schiste est plus dur. Sa stratification est moins distincte; sa cassure est conchoïde avec des teintes de bronze irisé (nos 58, 59). Tels sont d'ailleurs ses caractères prédominants lorsqu'il se rapproche comme ici des roches cristallines.

J'ai été frappé de la grande ressemblance de ce schiste de Saint-Aubin avec celui que je venais de voir au promontoire de Granville. Mêmes teintes bronzées, mêmes alternances avec une sorte de grauwacke, même tendance à devenir un poudingue ou conglomérat (voir quelques échantillons de comparaison, α, β, γ...). C'est assez dire que le schiste de Jersey diffère essentiellement du schiste satiné de Saint-Lô.

La structure schisteuse demeure manifeste dans toute la baie de Saint-Aubin et dans les vallées aboutissantes jusqu'à la seconde colline à partir de Saint-Hélier. Là elle est encore évidente; mais les feuillets sont fortement soudés entre eux, et il en résulte une roche qu'on distingue de loin par son aspect rubanné. Elle est beaucoup plus dure que dans les parties plus occidentales de la baie, à ce point qu'on l'exploite ici pour l'empierrement. A la première colline après Saint-Hélier, c'est-à-dire au mont Patibulaire, sur le versant à l'Ouest, la stratification est devenue indistincte; et de l'autre côté vers la ville, dans de grandes carrières exploitées pour pierres de construction, la roche passe progressivement à un *porphyre argileux*, à pâte compacte, pénétrée de cristaux de feldspath blanchâtre qui ont environ un centimètre de long sur un demi-millimètre d'épais-

seur (n° 72, etc.). Ces cristaux sont d'autant plus abondants qu'on s'avance vers la ville, ou qu'on remonte dans la vallée de Saint-Sauveur. Plusieurs rochers qui bordent la route, à la sortie de la ville, avant d'arriver au bord de la mer, en sont criblés. Ici outre les cristaux longs, on voit souvent de petites cavités tantôt remplies d'une substance blanche et lamelleuse (spath calcaire), ou plus rarement d'une substance grenue (calcaire compacte), ou même d'une argile ferrugineuse, tantôt enfin entièrement vides. C'est la *roche amygdaloïde* de M. Kœnig.

Ces roches porphyriques et amygdaloïdes sont fort employés à Saint-Hélier dans la construction des murs de clôture. On les retrouve dans toute la vallée de Saint-Sauveur, notamment dans une carrière à la sortie de Saint-Hélier, à la droite de la route qui passe devant la résidence du gouverneur de l'île. En cet endroit j'ai trouvé la roche pénétrée de petits cristaux de pyrite (n° 77 et 78). De plus, j'ai également vu le même porphyre argileux à une assez grande distance de cette première localité, auprès de l'Église de Gorey, dans le chemin qui descend de la paroisse Saint-Martin à Montorgueil. Seulement, il est ici beaucoup moins dur et passe à l'état terreux (n° 86, 87, 88, 89).

Le schiste proprement dit n'est pas limité à la baie de Saint-Aubin. Il remonte fort avant dans toutes les vallées qui aboutissent à cette baie. Ainsi il est à la base de l'église de Saint-Sauveur. Il affleure sur le chemin de Saint-Laurent, un peu en deçà de la borne du troisième mille, à partir de Saint-Hélier, ce qui est aussi en deçà de l'église. Enfin lorsqu'on suit la vallée de Saint-Pierre pour

aller à Saint-Ouen, on ne le quitte pas et il est encore depuis Saint-Ouen jusqu'à la mer, de sorte que la petite gorge qui descend à l'Étacq est dominée à droite par les roches cristallisées et à gauche par une masse schisteuse.

Ayant voulu mesurer la stratification de ces schistes, j'y ai trouvé beaucoup d'incertitude, et peut-être ont-ils été soumis à des dérangements d'origine et d'époque diverses. Il m'a paru du moins que les masses schisteuses ont été contournées par les mêmes causes qui ont produit les vallées aboutissant à la baie (1). Et il y a à cet

---

(1) Voici quelques mesures prises avec soin :

Première observation. A Saint-Aubin, au-dessous de la ville, vers la grève :

Inclinaison : 68° vers O. 25 N. du mode (c'est-à-dire après correction de la déviation magnétique).
Direction : S. 25° O. à N. 25° E.

Deuxième observation. Dans la route de Saint-Ouen, au delà de Saint-Pierre :

Inclinaison . 20° vers E. 25° S.
Direction : S. 25° O. à N. 25° E.

Troisième observation. Vallée de Saint-Pierre : dans une carrière à l'aval du premier moulin qu'on rencontre en remontant la vallée :

Inclinaison : 28° vers E. 36° S.
Direction : S. 35° O. à S. 35° E.

Quatrième observation. Dans le chemin de Saint-Laurent, étant encore daus la baie même de Saint-Aubin :

Inclinaison : 72° vers E. 34° S.
Direction : S. 34° O. vers N. 34° E.

Ainsi, les directions trouvées dans les observations *première* et *seconde* devraient peut-être se rapporter à une cause distincte de celle qui a produit l'allure indiquée aux observations *troisième* et *quatrième*. Et il n'échappera pas au lecteur que la direction du schiste dans ces deux-ci est précisément celle du mont de la Ville, et de la chaussée naturelle d'Élisabeth-Castle. Quoiqu'il en soit, la moyenne des quatre directions serait de S. 29° O. N. 29° E.

égard un fait principal que j'ai déjà indiqué et sur lequel je reviens ici avec plus de précision.

La direction de *Town-Hill* (mont de la Ville) S. 35° O. à N. 35° E., est la même que celle de la chaussée qui va du château d'Elisabeth à l'île de Jersey, en s'alignant sur la vallée de Saint-Sauveur : c'est à peu près encore celle d'une ligne qui longerait le pied du plateau dans les cantons de Longueville et Grouville jusqu'à Montorgueil.

Dès lors je me crois autorisé à penser que le porphyre argileux et la roche amygdaloïde de la vallée de Saint-Sauveur et du chemin de Gorey ne sont que de simples métamorphismes du schiste de Saint-Aubin, dus à l'éruption des roches cristallines de Town-Hill et de Montorgueil; et peut-être les blocs verts et anguleux, empâtés dans la syénite à Town-Hill, à Elisabeth-Castle, à Lamothe..., sont-ils des restes de ce même schiste à la fois brisé et métamorphosé ?

V.

Grès.

Lorsqu'après avoir visité le port de Gorey et le château de Montorgueil, on suit le bord de la mer à mi-côte, on arrive bientôt à une petite anse appelée *Anne-Port*, où on rencontre premièrement quelques porphyres très-différents de ceux de la vallée de Saint-Sauveur, mais analogues à ceux que nous trouverons au delà de la baie de Boulaye, sur la côte Nord de l'île (j'en reparlerai à la fin du présent paragraphe); et, à la suite de ces porphyres, un grès qui s'étend sur une partie notable de l'île.

Le petit cap qui sépare Anne-Port de la baie de Sainte-Catherine est formé de ce grès aussi bien que tous les rochers qui dans ces parages découvrent à la basse mer. Ainsi il est à la base de la tour d'Archirondel, séparée de l'île jusqu'à ces derniers temps, mais qui s'y trouvera liée désormais par la jetée Sud du port militaire actuellement en construction. Un peu au delà de cette tour, au fond de la baie de Sainte-Catherine, une carrière est ouverte dans ce grès; et un peu plus loin encore il est remplacé par le conglomérat ou poudingue argileux qui sera décrit dans le paragraphe suivant.

La couleur de ce grès varie ici du rouge clair à un rouge brun très-foncé. Il est très-dur, extrêmement tenace, généralement à grains fins, bien que dès ici quelques échantillons offrent des grains plus gros, annonçant ainsi l'aspect qu'il prendra dans une autre localité. Il est parfois pénétré de petits filets blancs très-ténus. Plus souvent de petites couches très-minces et très-nombreuses se succèdent l'une à l'autre et en font, dans certaines parties, un grès rubanné. Ces couches, généralement contournées, donnent à quelques échantillons, jusqu'à un certain point, l'aspect d'un tissu ligneux (1).

J'ai été frappé de l'aspect prismatique assez régulier que présentent en grand les arrachements

---

(1) J'ai trouvé non pas précisément en place, mais sur une hauteur formée de ce grès, entre la baie de *Boulaye* et le *Petit-Port*, un assez gros fragment qui ressemble beaucoup à du bois silicifié; trouvaille qui ne serait pas sans intérêt, puisque jusqu'à présent on n'a reconnu aucun débris fossile dans les îles de la Manche (n° 127 de la collection).

de ce grès dans la carrière de Sainte-Catherine. Cette circonstance a d'autant plus fixé mon attention que le docteur Macculoch a décrit dans Alderney un grès semblable à celui-ci sous beaucoup de rapports, avec cette particularité notamment d'offrir en grand un aspect jusqu'à un certain point analogue à celui du basalte. L'auteur paraît croire que ce grès est particulier à l'île d'Alderney ; mais, d'après la description qu'il en donne, il me paraît très-vraisemblable, au contraire, que c'est précisément le même grès qu'à Jersey (1).

Le grès d'Anne-Port couvre une bande de terrain qui s'étend du Sud-Est au Nord-Ouest, jusqu'à la pointe de Belle-Hogue, paroisse de la *Tri-*

(1) N'ayant pas visité Alderney, je ne puis émettre ici qu'une simple conjecture. Par cela même, il m'a paru utile de transcrire ici le passage où M. M. C décrit le grès qu'il a trouvé dans cette île : « This part of the island » is formed of a reddish grit, and the western side of » porphyry ; in which respects Alderney differs from the » others of the group ; which do not contain either of those » rocks, at least, in large masses.—The boundary of this » grit to the south-west, may be determined by a line drown » from l'Etat to Braie, or nearly. It is an aggregate formed » from a detritus of granite, regularly varying in its texture » and colour. At the N. E. part of the island it is a red coarse- » grained grit; but it becomes gradually whiter, and of a » finer texture, towards the west, till it ceases ; resembling » there, the finest sandstone. It is stratified through its » whole extent, in parallel and equal strata, of about a foot » in thickness. These strata are straight and continuous » wherever I have observed them, and are almost every » where inclined in an angle of 45°, dipping towards the » east. Here and there, are some strata of a more hori- » zontal tendency. Their equality and the regularity of their » position gives them in some places, where their edges » are exposed, a form so apparently columnar, that they » might at a distance be mistaken for basalt. » (p. 4 et 5).

nité. Ainsi on le trouve exploité dans quelques carrières sur les hauteurs entre Gorey et Saint-Martin (1). De plus, lorsqu'on quitte cette dernière paroisse par le chemin de Rosel, on laisse sur la droite une petite vallée qui descend au moulin de la Pernelle, dans la baie de Sainte-Catherine. Des deux côtés se présentent des escarpements de grès. A gauche il est exploité pour l'empierrement des routes, et là on retrouve la forme prismatique bien prononcée. Il y a en outre cette circonstance que la couleur passe insensiblement du rouge clair à un vert tendre, et qu'en même temps la roche se pénètre d'un grand nombre de petits cristaux de pyrite. Aux escarpements de droite elle perd quelquefois l'aspect arénacé et prend une cassure conchoïde; mais plus souvent elle offre une structure veinée ou fibreuse. De plus, sans perdre sensiblement de sa dureté, elle éprouve une altération due sans doute à la décomposition des parties feldspathiques; elle happe alors à la langue et y développe la même sensation que l'argile. Ce nouveau caractère se développe davantage dans la paroisse de la Trinité. Ainsi, dans les berges du chemin qui conduit à la baie

(1) Sur une hauteur voisine de Gorey et qui domine Anne-Port, on montre aux visiteurs un monument druidique (appelé *La Poquelaye*), formé de neuf pierres debout, rangées circulairement; le tout recouvert d'une autre pierre beaucoup plus considérable. Les pierres debout sont de la roche synémique rouge sombre de Montorgueil, au lieu que la pierre horizontale est un bloc de grès d'Anne-Port. Sa forme n'est pas très-éloignée d'un parallélipipède droit. Voici ses dimensions :

Longueur.	4m,25
Largeur maximum.	3m,00
Épaisseur moyenne. . . .	0m,80

de Boulaye, on trouve le grès, mais avec une couleur claire et tachant les doigts. Enfin, à la descente de la baie, il est complétement blanc, au point de ressembler de loin à du calcaire; mais en même temps il devient friable; et les observateurs que j'ai mentionnés ci-dessus lui donnent ici le nom de kaolin.

Est-ce bien la même roche rouge-brun, et si tenace à Anne-Port, qui par la prédominance progressive des parties feldspathiques, et leur décomposition, est devenue la roche blanche (kaolin?) de la baie de Boulaye? Je crois qu'en présence de la série d'échantillons (99 à 119) qui marquent le passage gradué de l'un à l'autre de ces extrêmes, on sera conduit à admettre l'affirmative. Je dois remarquer qu'on a rapporté jusqu'ici la roche blanche de Boulaye à la décomposition des porphyres. A la vérité, on n'avait pas décrit le grès d'Anne-Port.

Continuons maintenant de descendre dans la baie de Boulaye. Lorsqu'on a dépassé les roches blanches et friables, on retrouve le grès avec tous ses caractères; mais à mesure qu'on descend, il prend un grain de plus en plus gros, au point de devenir un vrai poudingue où on croit reconnaître les débris d'une roche syénitique. A la gauche de la descente, une carrière d'une médiocre étendue offre d'une manière très-manifeste la stratification de ce grès. La roche est en couches de 1 à 2 centimètres jusqu'à environ un 1/2 mètre d'épaisseur, alternant avec des lits minces d'une argile ferrugineuse, de couleur brun foncé, très-mêlée de sable, à structure feuilletée, peu consistante. J'ai trouvé les résultats suivants : *inclinaison :* 25° plongeant vers E. 30° N ; et par

conséquent, *direction :* de N. 30° O. à S. 30° E. Quoi qu'il en soit, telle est aussi la direction générale de la bande de terrain où on observe ce grès, entre Boulay-Bay et Anne-Port.

De la baie de Boulaye jusqu'au cap Frémont on trouve des porphyres à pâte feldspathique, très-durs, de nuances variables depuis le vert foncé jusqu'au gris clair avec une teinte rose. Ces roches, semblables à celles que j'ai signalées ci-dessus dans Anne-Port avant le grès, pourraient, ce me semble, fournir de beaux produits à l'industrie. Comme je n'ai pas eu le temps d'étudier leurs relations géologiques, je me borne ici à cette indication.

VI.

Poudingue, ou conglomérat argileux.

Au delà de la bande de grès qui va de Anne-Port à la Belle-Hogue, et ainsi dans toute cette partie au Nord-Est de l'île qui comprend les côtes depuis la moitié Nord de la baie de Sainte-Catherine jusqu'à la tour de Rosel, qui termine à l'Est la baie de Boulaye, on trouve une roche très-différente de toutes celles qu'on a ci-dessus décrites. C'est un conglomérat dont les galets offrent généralement dans la baie de Sainte-Catherine une teinte ferrugineuse, ou fortement bronzée; mais, quand on approche de la pointe de Verclut, la pâte aussi bien que les galets eux-mêmes sont d'un beau vert bleuâtre uniforme. En même temps la roche devient très-solide et susceptible d'être taillée en très-gros blocs (1), au lieu que les par-

(1) C'est avec de tels blocs qu'on établit les constructions du port militaire.

ties bronzées ont relativement une certaine facilité de désagrégation. Les galets sont de toute grosseur depuis celle d'une noisette jusqu'à avoir un 1/2 mètre de diamètre moyen.

La masse de ce conglomérat se voit tranchée à pic sur des hauteurs de 60 à 80 mètres, sans qu'on puisse y constater aucune stratification distincte, ni aucune disposition régulière des galets, par ordre de grosseur ou autrement. Aux premières carrières de la baie de Sainte-Catherine la masse semble partagée en plusieurs couches distinctes de 2 à 3 mètres d'épaisseur. Mais lorsqu'on voit tous les galets coupés régulièrement par les plans de séparation de ces sortes de couches, on est porté à considérer cette apparence comme due à quelque accident postérieur au dépôt du poudingue. Quoi qu'il en soit, la direction de ces couches m'a paru être de N. 25° O. à S. 25° E., avec une inclinaison d'environ 65°, plongeant vers le O. 25° S.

C'est à peu près encore la direction générale de la bande de grès d'Anne-Port, et l'inclinaison paraît propre à faire passer le poudingue sous le grès (1). D'un autre côté, je crois avoir constaté deux fois la superposition du grès au poudingue, savoir : 1° dans la descente de la baie de Boulaye, à un niveau inférieur aux roches blanches friables; 2° à l'ouest de Boulay-Bay, en descendant de *Vicar-Point* vers le *Petit-Port*.

La pâte de conglomérat de Verclut est de

---

(1) L'inclinaison du grès observé à la descente de Boulay-Bay (*voir* le paragraphe précédent) semblerait indiquer au contraire que le grès passe sous le poudingue. C'est un point qui est demeuré douteux pour moi.

même nature que les galets, analogue à celle du schiste argileux. M. Macculock emploie sur sa carte la dénomination d'*argillaceous-breccia*, brèche argileuse. Toutefois quelques galets paraissent formés de grauwacke à grains fins; d'autres, plus rares, sont de roche syénitique ou granitique où le feldspath paraît altéré. D'ailleurs il est sensible que les fragments des roches cristallines sont beaucoup plus arrondis que les autres, et ils me paraissent établir pour ce poudingue un âge postérieur soit au dépôt du grès d'Anne-Port, soit à l'éruption de la roche syénitique de Mont-la-Ville et de Gorey.

VII.

Filons dans la syénite; fractures postérieures au dépôt du schiste de Saint-Aubin.

1° A la presqu'île de Plémont, au Nord-Ouest de l'île, un peu au delà de la porte fortifiée qui ouvre sur l'isthme, la route est traversée par un filon déjà indiqué ci-dessus (note 2, p. 505). Ce filon, d'une épaisseur de 2 à 3 décimètres, traverse la syénite dans la direction de O. 33° S. à E. 33° N. A n'en juger que par l'aspect extérieur, la nature de ce filon serait identique à celle du schiste de Saint-Aubin; et alors on pourrait croire qu'une fente préexistante dans la roche syénitique a été remplie par le dépôt de la roche argileuse; mais peut-être qu'un examen plus approfondi montrerait que la roche de ce filon est elle-même cristalline, et par conséquent éruptive. C'est probablement une roche amphibolique passée à l'état terreux.

2° En sortant de Saint-Hélier pour aller à Grouville, on voit dans la berge du chemin un filon

de même nature que le précédent et situé aussi dans la syénite; sa direction est de S. 37° O. à N. 37° E. Ce filon a environ 2 mètres de puissance.

3° Enfin, sans compter un filon semblable aux deux précédents qu'on voit affleurer le sol sur le Mont-de-la-Ville, au-dessous du glacis de la citadelle, il y en a un autre extrêmement remarquable dans ce même *Mont-de-la-Ville*. C'est un filon de mica en roche (*minette?*) d'une puissance de près de 3 mètres, courant à peu près du Sud au Nord. Ce filon offre au mur et au toit une consistance médiocre et un aspect terreux. Il est au contraire fort dur au centre et sur le tiers environ de l'épaisseur totale. Dans cette partie centrale, les lames de mica sont d'un beau noir, au lieu qu'elles sont d'un brun marron de chaque côté. Il y a aussi dans les deux parties tendres du filon de petites masses de mica, arrondies et comme testacées, qui sont peut-être une singularité au point de vue minéralogique. Il est d'ailleurs fort remarquable de trouver ainsi le mica en roche dans une île où cette substance fait en quelque sorte défaut à ses associations naturelles, y étant presque constamment remplacée par l'amphibole.

4° Je terminerai par l'indication d'un fait qui ne me paraît pas sans importance. Les petites vallées qui sillonnent le plateau de l'île, celles du moins qui se dirigent au Sud et à l'Est, se déclarent à leur naissance par une brusque dépression du terrain, sur une largeur de 20 à 50 mètres, encaissée de chaque côté par deux berges de 2 à 3 mètres de hauteur, coupées d'une manière abrupte dans le schiste que nous avons décrit dans la baie de Saint-Aubin. On croit voir des traces de

grandes fractures qui auraient eu lieu après la formation et la consolidation de ces schistes anciens. Une topographie exacte, qui ferait connaître les situations relatives de ces fractures, jetterait sans doute quelque lumière sur les anciennes révolutions géologiques dont Jersey a été le théâtre.

Nota. J'ai marqué la distinction géologique des terrains sur la carte ci-jointe (*Pl. XV*) de l'île de Jersey publiée, en 1848, par H. Laurie (n° 53, Fleet street, London). Les profondeurs de l'eau à la basse mer y sont exprimées en fathoms anglais; et le fathom vaut, comme on sait, 1m,829. On remarquera que la mer est immédiatement très-profonde sur toute la côte Nord, tandis qu'au contraire la pente du rivage est très-faible à l'Ouest, au Sud et au Sud-Est; circonstances qui s'accordent bien avec le relief extérieur de l'île.

NOTICE

Sur l'appareil de BRUNTON *pour le lavage des minerais de cuivre établi aux mines dites* DEVON GREAT CONSOLS (*Devonshire*).

Par M. J.-A. BURDON, ancien élève externe de l'École des mines.

Les minerais extraits des mines *Devon great Consols*, sont principalement des cuivres panachés et des pyrites cuivreuses à gangue de quartz laiteux. Le filon qui les contient, remarquable par sa puissance et par la pureté du minerai qu'il renferme, traverse un schiste métamorphique dont l'apparence satinée s'explique par le voisinage du granite. Les produits de l'exploitation, en grande partie assez purs pour être exportés sans autre préparation qu'une simple mouture, contiennent néanmoins souvent une quantité notable de pyrite arsenicale (*mundic*) et de quartz amorphe ou en petits cristaux. L'appareil de Brunton a été imaginé dans le but de parvenir à la séparation aussi complète que possible de ces dernières substances, et surtout de réaliser une grande économie de temps et de main-d'œuvre sur les anciens procédés de lavage. Un premier appareil établi depuis quelques mois, m'a-t-on assuré, ayant donné des résultats satisfaisants, tant par la pureté de ses produits que par l'uniformité de son travail, on s'était décidé à en établir un deuxième. Celui-ci, qui forme le sujet de la présente notice, avait commencé à fonctionner deux semaines avant ma visite à la mine,

c'est-à-dire au commencement du mois d'août 1851. L'ensemble du mécanisme, tel que je l'ai vu dans la localité, présentait sur la conception primitive de Brunton des perfectionnements notables. Dès lors, j'ai pensé qu'une description spéciale ne serait pas tout à fait sans utilité, malgré l'existence d'une spécification de l'auteur annexée à sa demande de brevet.

Avant d'entrer dans aucun détail, il est peut-être nécessaire d'énumérer rapidement les préparations mécaniques subies par le minerai avant son passage dans l'appareil. Le produit de la mine est trié à la main et cassé. Les minerais riches du cassage sont soumis à la mouture, puis vendus sans autre préparation. Les minerais pauvres et quartzeux sont bocardés et ensuite criblés à la cuve. Quant aux minerais simplement pyriteux ou schisteux on en fait deux classes : le gros et le menu du cassage. Le gros est porté aux meules et ensuite criblé à la cuve, le menu subit immédiatement le criblage. Les matières fines et riches qui occupent le fond des auges de criblage après un travail prolongé, la fin du bocardage et une partie des boues des labyrinthes sont délayées dans une quantité d'eau suffisante pour passer dans l'un des appareils Brunton. La partie restante des boues de labyrinthe occupe à elle seule l'autre appareil.

Afin de ménager les eaux extraites du puits dit *Wheal Anna Maria*, on a jugé à propos d'en mélanger une partie avec le minerai et de renvoyer par une série de conduites en bois de 150 mètres de longueur environ, le liquide ainsi préparé jusqu'à un autre puits situé plus bas et nommé *Wheal Maria*. Les eaux extraites de ce dernier

servent à faire mouvoir le plus ancien des laveurs patentés. On a pu ainsi réserver une portion notable du produit des pompes des puits supérieurs pour l'employer comme force motrice.

Les dessins (*Pl. XVI* et *XVII*) qui accompagnent cette notice se rapportent à l'appareil placé auprès de Wheal Anna Maria, alimenté avec des boues de labyrinthe non encore délayées dans l'eau.

Passons maintenant à la description du procédé. Les boues jetées à la pelle sur le plancher A (*fig.* 1, *Pl. XVI*, et *fig.* 2, *Pl. XVII*), puis passées à travers la trémie B, tombent dans le réservoir C afin de s'y mélanger à l'eau et d'y éprouver un commencement de pétrissage. Ce dernier effet est obtenu à l'aide d'un cylindre en bois armé de lames de fer au nombre de 105 implantées perpendiculairement à son axe. Celui-ci est mis en mouvement à l'aide d'engrenages montés sur l'arbre d'une roue à augets de $1^m,44$ de diamètre et alimentée par une portion des eaux de la mine. L'eau nécessaire au mélange se rend d'abord dans une petite bâche placée au-dessus du réservoir et dont le fond percé de trous lui permet de tomber en pluie sur le cylindre placé au-dessous.

Les boues maintenant liquides, en passant par-dessus les bords du premier réservoir, se rendent dans une deuxième auge E (*fig.* 1, *Pl. XVI*, et *fig.* 1 et 2, *Pl. XVII*) parallèle à la première où elles éprouvent un nouveau mélange opéré par un cylindre portant huit rangées de barres en fer. Un conduit en bois situé dans un des angles de l'auge transmet le liquide à un tambour F recouvert de toile métallique et recevant son mouvement du cylindre précédent par l'intermédiaire d'une petite chaîne sans fin. Le tuyau T parallèle à l'axe du

tambour et situé un peu au-dessous, déverse son contenu à peu près au tiers de la longueur de celui-ci. Ce crible tournant, auquel on a donné une pente d'environ 1 sur 4, a pour objet de séparer du liquide toutes les impuretés qui surnagent, telles que pailles, copeaux, etc. Au fond de l'auge qu'on voit au-dessous du tambour se meut un cylindre G (*fig.* 2, *Pl. XVII*) semblable au précédent et destiné à empêcher que les matières métalliques ne se déposent avant leur sortie définitive de l'appareil. Le liquide sort enfin du réservoir par six conduits couchés sur le sol et dont chacun déverse une partie du mélange sur une des toiles constituant l'appareil de séparation. Cette partie la plus importante du laveur patenté est destinée à opérer en quelque sorte l'analyse des boues par voie de lavage. Les diverses pièces mobiles qui la composent sont commandées par une roue à augets recevant l'eau de la roue supérieure, dont le canal de fuite lui sert de canal d'arrivée. (*fig.* 2 et 3, *Pl. XVI*) Le moteur transmet son mouvement par des engrenages xx', yy' à deux axes H, H' placés au-dessus du sien dans le même plan vertical. Chaque axe est solidaire avec trois tambours I (*fig.* 3, *Pl. XVII*) formés de petites douves en sapin clouées sur des cercles en bois, et soutenus chacun par un châssis élevé au-dessus d'un dallage en tuiles. Des toiles vernies sans fin mises en mouvement par ces tambours, passent ensuite sur d'autres cylindres M et N (*fig.* 3, *Pl. XVII*). Chaque toile qui glisse dans l'intervalle des deux tambours sur deux tringles fixées au châssis, est munie à sa surface intérieure et perpendiculairement à sa longueur de bandes plates en sapin remplissant le même office que les maillons dans une chaîne sans fin. Ces baguettes ou lattes sont fixées

au moyen de deux bandes de flanelle appliquées le long des bords intérieurs de la toile et assujetties par des rivets en cuivre. Les châssis disposés de chaque côté du moteur hydraulique par groupes de trois, sont suspendus, à l'aide de boulons, à une longue traverse J soutenue par des montants, de sorte qu'on peut faire varier à volonté l'inclinaison de chaque cadre en tournant les écrous à manette K. Un plateau en éventail L placé au-dessus du châssis reçoit le mélange liquide dont il a été question plus haut. Après s'être divisé en six ou sept filets différents, celui-ci se déverse sur la toile aux deux tiers environ de sa longueur, tandis qu'une petite lame d'eau qu'on a eu soin de prendre la plus pure possible, s'écoule d'un tuyau *r* et tombe dans une auge placée à la tête du cadre. Le trop-plein qui se forme s'écoule le long des bords de l'auge et tombant en gouttes sur la toile y trouve le mélange métallifère amené à sa rencontre par le mouvement progressif de celle-ci. Dès ce moment, la séparation des matières riches et stériles commence à s'opérer. La pyrite arsenicale, le quartz etc., substances relativement légères, sont emportées par l'eau. Elles continuent à descendre le long de la surface légèrement inclinée de la toile, malgré son mouvement en sens contraire, jusqu'à ce qu'elles atteignent le cylindre inférieur où l'action de la pesanteur fait lâcher prise à l'eau qui leur sert de véhicule. Les matières cuivreuses, au contraire, trop pesantes pour être entraînées par le liquide, restent adhérentes à la surface vernie jusqu'au moment où celle-ci par suite de son mouvement de translation vient tremper dans l'eau dont la caisse R est remplie jusqu'aux bords. Ici les particules métalliques ne tardent pas à gagner le fond où elles

s'entassent jusqu'à atteindre le tiers de la hauteur de la caisse.

Voici maintenant la troisième et dernière des manipulations qui constituent le procédé. On soutire l'eau par un trou de bonde pour mettre à nu le sédiment, puis on fait rouler la bâche sur les rails en bois qui la supportent, jusqu'au bout du châssis, où elle est enfin vidée à la pelle. Son contenu, ainsi que celui des cinq autres caisses, est versé dans une grande tonne S (*fig.* 1 et 3, *Pl. XVII*) aux deux tiers pleine d'eau. Les sédiments cuivreux y sont mis en suspension et mélangés au moyen d'un axe vertical portant deux bras de fer en forme de rames et recevant son mouvement du moteur principal par l'intermédiaire des engrenages coniques *vv'* et *zz'*. Après deux ou trois heures de rotation, l'appareil agitateur est enlevé et la tonne est soumise à une percussion produite par quatre marteaux dont deux seulement *u*, *u'* sont visibles sur la figure.

Ceux-ci, soulevés à des intervalles égaux par une lanterne agissant sur des tirants articulés aux manches *bb*, en frappant les parois de la tonne, forcent les matières en suspension à se ranger au fond suivant l'ordre de leurs densités. Au bout de vingt-quatre heures, on arrête les marteaux et on laisse reposer pendant un laps de temps égal. Enfin, on fait écouler l'eau par des trous percés à différentes hauteurs dans les douves, puis on enlève la couche supérieure à l'aide d'une lame de tôle. Le fond de la tonne est ensuite vidé et mis à part sous une halle pour l'exportation.

La vitesse de rotation des deux cylindres à recouper les boues, dont il est question au commencement de cette notice, est d'environ seize à dix-huit tours par minute, mais il n'y a rien d'absolu

dans cette vitesse. Celle de la petite roue à augets qui les commande est elle-même très-variable et sa force est hors de proportion avec la résistance à vaincre; aussi m'a-t-on assuré que bientôt on la remplacerait par une autre de dimensions plus fortes. En général, j'ai cru remarquer à Wheal Maria qu'on était peu soucieux de fixer *à priori* les dimensions des roues employées, ainsi que les volumes d'eau qu'on devait leur attribuer. Une fois la roue établie, si l'eau fournie par les pompes du puits voisin était insuffisante, on en prenait ailleurs quoique souvent à un niveau inférieur et en moindre quantité. Aussi, n'est-il pas rare dans la localité de voir les moteurs hydrauliques alimentés simultanément à deux ou trois points différents de leur hauteur.

Une femme ou un enfant suffisent pour surveiller les diverses parties de l'appareil Brunton et empêcher l'obstruction des conduits, etc. Le prix de la tonne de 1.016 kilog. de minerai lavé varie à Wheal Maria de 4 à 7 liv. sterl, cette variation de prix ne tenant pas au degré de perfection du lavage, mais uniquement à la composition chimique du minerai.

INTRODUCTION

A l'étude des préparations mécaniques des minerais, ou expériences propres à établir la théorie des différents systèmes usités ou possibles (Suite).

Par M. PERNOLET.

S'il était possible, en grand, de classer les minerais bruts avec les soins minutieux qui ont caractérisé nos criblages, et si, au milieu d'un mélange de quelques-uns des minéraux soumis à nos expériences, que l'on précipiterait dans une profondeur d'eau convenable, chacune des parcelles minérales devait se comporter comme à l'état d'isolement, les tableaux nos III et IV montrent qu'on obtiendrait les résultats suivants : Aperçu général sur la possibilité de faire usage de la précipitation libre dans l'eau comme moyen de préparation des minerais.

1° La pyrite ne se séparerait jamais complétement de la galène, et la séparation serait d'autant plus incomplète que le sable soumis à la précipitation serait plus fin.

2° Pour notre blende, au contraire, plus le sable serait fin, plus ce minéral semblerait disposé à se séparer complétement de la galène. C'est pour le calibre correspondant à la seconde classe du tableau n° IV, c'est-à-dire pour des grains d'environ 2 millimètres de côté, que la séparation complète commencerait à devenir possible. Galène par rapport aux autres minéraux.

3° La baryte sulfatée resterait toujours associée en partie avec la galène comme la pyrite, mais en moindre proportion que ce dernier minéral, et à un degré à peu près constant pour toutes les grosseurs de sable.

4° Enfin la chaux carbonatée et mieux encore le quartz se sépareraient de la galène en totalité, et avec d'autant plus de facilité, ce semble, que le sable serait plus fin, cela jusqu'au calibre du n° V inclusivement. Ce calibre doit être moyennement inférieur à 1/2 millimètre. Au-dessous de cette limite, la séparation ne serait plus que partielle, et bonne partie des parcelles métalliques resteraient confondues avec les grains pierreux, celles qui descendent le plus lentement avec ceux qui tombent le plus vite.

Blende par rapport à la chaux carbonatée et au quartz.

Si l'on recherche dans le tableau n° IV la manière dont la blende se comporterait pendant la précipitation par rapport à la chaux carbonatée et au quartz, on trouve que la séparation complète ne paraît possible que pour les grenailles, et que la confusion des matières pierreuses et de la substance métallique est d'autant plus à craindre que le calibre des grains devient plus petit.

Le degré d'imperfection à attendre de la séparation des grains précipités simultanément est donné par le sens et la quotité de la différence entre les temps de chute des grains métalliques les plus lents comparés aux grains pierreux les plus rapides. Or, dans le cas qui nous occupe, tandis que pour notre classe n° 1 les grains les plus lents de blende arrivent au fond du tube moins de 2 secondes après le grain calcaire le plus rapide, et une seconde avant le premier grain quartzeux, il se passe de 46 à 50 secondes depuis l'apparition au bas du tube des premiers grains pierreux de la classe n° V, jusqu'à la complète descente des dernières parcelles métalliques de la même classe. Par conséquent, si la séparation promet d'être à peu près satisfaisante pour la première classe, et à plus forte raison probablement pour les calibres

supérieurs, cette séparation se réduirait pour la cinquième classe à l'élimination d'une très-petite portion de parcelles pierreuses.

Cette loi de séparation de la blende en raison du calibre des sables sur lesquels on opère, se trouve être l'inverse de celle que nous avons constatée pour la galène jusqu'à la cinquième classe inclusivement; néanmoins la conséquence pratique à en tirer est la même, savoir que lorsqu'on a à séparer du quartz ou de la chaux carbonatée, de la blende ou de la galène, par un procédé basé sur le jeu des densités, il est avantageux de n'être pas obligé de réduire ce minerai à l'état de sable, et surtout de sable fin, parce qu'en se contentant de le broyer en grenailles, on rendra la séparation à la fois plus rapide et plus complète. La séparation sera plus rapide, puisque les grenailles se précipitent au moins deux fois aussi rapidement que les sables; elle sera plus complète, puisque, d'une part, pour la blende, la confusion croît avec la petitesse des grains, et que de l'autre, pour la galène, plus on divise la matière, plus on s'expose à produire soit ces poussières de calibre inférieur à la cinquième classe, qui ne se montrent pas moins rebelles que les sables de blende à la séparation par ordre de densité, soit en grains arrondis de gangue pierreuse qui pourraient devoir à leur forme de rester associés dans leur chute avec des grains métalliques à la fois anguleux et plus petits.

Blende par rapport à la pyrite sulfatée et à la pyrite.

Entre la blende et la baryte sulfatée il n'y a pas de séparation possible par voie de précipitation; mais il n'en est pas de même pour la pyrite, bien que sa densité ne soit pas supérieure à celle de la baryte sulfatée. Seulement, pour que cette dernière séparation soit possible, il faut pousser la di-

vision du minerai plus loin encore que pour pouvoir séparer la galène de la même blende. Il faut broyer jusqu'au calibre de notre quatrième classe du tableau n° IV, c'est-à-dire produire des grains du calibre moyen d'environ 3/4 de millimètre. A cette grosseur, c'est apparemment la nature lamellaire de la blende qui lui permet de rester en arrière des grains de pyrite quand on les précipite ensemble dans l'eau, tandis que, pour un calibre plus élevé, l'épaisseur relative des fragments de blende est probablement plus grande et, par suite, l'effet de l'aplatissement moins prononcé.

Houille par rapport à la chaux carbonatée et au quartz.

Les tableaux n°s III et IV donnent huit séries d'observations sur autant de calibres différents relativement à la précipitation simultanée de la houille et du quartz. Sur ces huit séries, six accusent la possibilité d'une séparation à peu près complète entre les deux substances, et comme les deux séries qui n'accusent qu'une séparation partielle alternent précisément avec les trois séries d'où l'on déduirait la séparation la plus satisfaisante, je pense qu'il faut attribuer cette anomalie à l'impureté des grains de houille les plus rapides de la première et de la troisième classe du tableau n° IV. Cette impureté est à peu près certaine pour la première classe, puisque le maximum de vitesse qui lui correspond est égal au maximum de vitesse propre à la troisième classe du tableau n° III, ce qui n'est pas admissible, par suite de la différence de 1 à 2 1/2 entre les calibres des grains dont ces deux classes sont formées.

La séparation de la houille d'avec le quartz semble donc devoir être à peu près complète, quel que soit le calibre des grains sur lesquels on opérerait; mais elle serait bien plus sûre et bien plus facile pour la chaux carbonatée, puisque pour

les quatre exemples que donne le tableau n° IV on a des intervalles de 18 secondes au moins entre l'apparition au bas du tube du dernier grain pierreux et l'apparition du premier grain de combustible. Cette durée de 18 secondes se trouverait réduite à 3 secondes environ, si, au lieu d'opérer dans un tube de 6 mètres, comme était le nôtre, on opérait sur un simple tube de 1 mètre, et comme une précipitation dans une profondeur d'eau de 1 mètre, avec 3 secondes d'intervalle pour passer d'un produit à l'autre, sont des conditions qui n'ont rien de très-embarrassant, on peut conclure de ce qui précède que, si les matières les plus légères qui souillent la houille étaient de nature à pouvoir être placées par leur densité et leur structure entre le quartz esquilleux et la chaux carbonatée lamellaire, la purification de ce combustible par simple précipitation devrait être considérée comme praticable. Mais les schistes associés à la houille doivent se rapprocher davantage de notre plombagine (1), et le tableau n° IV montre que si la séparation de ces deux substances charbonneuses promet d'être à peu près complète pour des grains de calibre supérieur à 3 millimètres, il est à craindre que les sables fins et les poussières ne restent en partie confondues.

Pour la galène comparée au quartz ou à la chaux carbonatée, la même conclusion favorable au lavage par précipitation est admissible dans des

(1) La densité des fragments schisteux retirés de la houille de Lagrappe est moyennement de 2.174, ces fragments sont très-aplatis, tandis que la houille affecte habituellement des formes un peu plus concentrées; sa densité est de 1.285, elle varie de 1.270 à 1.300. La densité du schiste séparé de cette houille par l'appareil Bérard varie de 2.110 à 2.222.

limites plus étendues que pour la houille comparée aux matières terreuses qu'elle contient à l'état de mélange. En effet, nos tableaux donnent un intervalle moyen de plus de 6 secondes entre l'arrivée au bas du tube des grains de galène les plus lents à descendre et l'apparition des grains pierreux les plus rapides ; et, dans ce cas encore, une profondeur d'eau de 1 mètre à 1^{m},50 semblerait pouvoir suffire pour opérer la préparation complète du mélange par voie de précipitation libre. Ce ne sont que les poussières de calibre inférieur à 1/2 millimètre qui semblent devoir résister à ce moyen de préparation.

Conditions nécessaires au succès du lavage par précipitation.

Jusque-là donc on est fondé à dire que, relativement aux grenailles et aux sables proprement dits, la précipitation libre ne serait pas inférieure aux procédés ordinaires, si un appareil convenable permettait d'user couramment de ce moyen. Mais pour arriver aux conclusions précédentes, j'ai été obligé de faire deux suppositions qui peuvent n'être pas admissibles. Il a fallu supposer que les minerais bruts sur lesquels nous avons raisonné étaient classés avec les soins minutieux que nous avons pu mettre à nos criblages en petit. En outre il a fallu supposer que, dans les mélanges qu'on précipiterait en grand, chacun des grains se comporterait comme à l'état d'isolement. Il importe d'examiner jusqu'à quel point ces suppositions sont fondées.

Pour ce qui est du criblage, il n'est pas matériellement impossible de pratiquer en grand ce que nous avons fait en petit, mais il en résulterait certainement une augmentation de frais exorbitante, si bocardant à l'eau des minerais très-quartzeux, par exemple, on les séchait après chaque broyage pour les tamiser au moyen de cri-

bles à ouvertures aussi rapprochées que celles de nos cribles à trous ronds, en n'agitant à la fois sur le crible qu'une couche très-mince de matière. Du reste, cette manière de procéder n'est pas la seule qui puisse conduire au but à atteindre. En opérant au milieu de l'eau il n'y aurait plus à se préoccuper de l'humidité des minerais (qui pour tout criblage fait à découvert doit être regardée comme une cause certaine de classement essentiellement grossier), et, en ayant soin de ne pas trop charger le crible, on pourrait attendre du travail en grand un classement peu différent de celui que nous avons obtenu. Toutefois il resterait une difficulté relative au grand nombre de criblages successifs qui seraient nécessaires, s'il fallait faire usage de cribles à ouvertures aussi rapprochées que celles des douze cribles à trous ronds qui ont servi au classement de nos sables. En effet, d'un numéro au numéro suivant les ouvertures de ces cribles ne présentaient que des différences variables de 6 à 15 p. 100, soit de 10 p. 100 environ, et si l'on voulait se conformer à cette règle pour toute la série des cribles à employer depuis les mailles carrées de 30 millimètres de côté, on trouve que, seulement pour le classement des grenailles, il ne faudrait pas moins d'une vingtaine de cribles différents. C'est au moins quatre fois autant que ce qui est communément usité. Des criblages si multipliés auraient deux inconvénients très-grands : ils augmenteraient les frais de préparation, en même temps qu'ils auraient toute chance de donner lieu à la pulvérisation d'une quantité notable des parties métalliques, qui, par cela même, se trouveraient plus exposées à être perdues.

Heureusement ce luxe de précautions paraît

Recherche du nombre de cribles nécessaires à un classement passable.

n'être pas nécessaire. En effet, quand on se reporte aux nombreuses observations que nous avons notées précédemment sur les différences de calibre propres à une même classe de grenaille ou de sable, on reconnaît que plus de vingt de ces observations ont donné des résultalts à peu près identiques, bien que la différence entre les calibres des cribles successifs ait été tantôt beaucoup plus grande, tantôt considérablement plus petite que la différence moyenne de 10/100 déduite de la série des cribles employés pour le classement des sables. Notre série totale présentait des mailles carrées sautant de 18 millimètres de côté à 7, c'est-à-dire de 100 à 38, et des trous ronds qui passaient seulement de 4$^{\text{mill.}}$,44 à 4$^{\text{mill.}}$,17, simple décroissance de 100 à 94; néanmoins, sauf une seule exception, les classes correspondantes ont donné entre les volumes des grains les plus gros et ceux des plus petits des rapports à peu près constants pour une même substance, notamment pour la galène.

N'est-on pas en droit de juger ces observations assez concluantes pour en induire que, dans les limites de nos données, l'imperfection du classement par criblage, c'est-à-dire les variations de grosseur entre les grains extrêmes d'une même classe, sont dues au coudoyement, pour ainsi dire, des grains qui se présentent pour passer à la fois, et qu'en présence de l'immense foule de ces grains ces variations se trouvent indépendantes non-seulement du calibre des matières et de la forme des cribles, mais encore de la différence entre les trous de deux cribles consécutifs.

Il est évident d'ailleurs qu'à ce dernier sujet l'indépendance ne saurait être absolue. Elle paraît cesser aux environs du rapport de 100 à

50, entre les calibres de deux cribles successifs.

En effet, la seule exception qu'on puisse citer est relative à la seconde classe de notre tableau n° III, laquelle correspond à deux cribles successifs dont les calibres diffèrent de 100 à 39, tandis que la première classe du même tableau offre des différences de 30 à 18, c'est-à-dire 100 à 60, sans cesser pour cela de présenter, entre les gros grains et les petits, les mêmes rapports qu'on déduit des autres classes. De sorte que c'est en deçà de 60 à 100 et au delà de 40 à 100 que la différence entre les calibres de deux cribles successifs semble cesser d'être sans influence sur le rapport entre le calibre des plus gros grains et celui des plus petits. A défaut d'observations intermédiaires, il convient donc d'adopter 40 à 100 comme limite supérieure des différences admissibles pour maintenir constant le rapport entre les grains extrêmes. Il se trouve que cette différence est à peu de chose près celle qui existe inévitablement soit entre le diamètre moyen des grains et le côté des mailles, soit entre le plus grand diamètre des grains et le plus petit.

Une différence notablement plus petite entre les calibres de deux cribles successifs aurait pour effet d'augmenter les manipulations tant en nombre qu'en durée, et cela sans utilité, d'après ce qui précède, par rapport à la perfection du classement.

Il y aurait au contraire inconvénient à mettre entre les calibres de deux cribles successifs une différence notablement plus grande, parce qu'on a vu qu'au-dessus de cette limite la différence entre les grains extrêmes, déjà si grande, quoi qu'on fasse, deviendrait plus excessive encore.

Loi de dérivation des côtés ou diamètres des mailles ou des trous d'une série de cribles suffisante.

Si les faits que j'ai signalés étaient regardés comme suffisamment établis et la différence limite de 40 à 100 admise, on pourrait en déduire un moyen très-simple de former la série complète des cribles qu'il convient d'employer pour le plus économique classement des minerais par criblage.

On partirait de mailles carrées à côtés de $0^m,030$, selon l'usage, pour s'arrêter au voisinage de la grandeur de maille égale à 1 1/2 millimètre de côté : dans quelques cas il conviendra même de descendre jusqu'à 1/2 millimètre.

A 25 ou 30 millimètres de côté et au-dessus, le triage à la main est encore possible, tandis que la séparation par procédé mécanique est fort incomplétement efficace : en général tant que les fragments de minerais sont saisissables à la main le triage doit prévaloir sur tout autre moyen de préparation, parce que le mélange de substances différentes dans un même morceau, en proportion variable, trouble trop la pesanteur spécifique propre à chaque minéral, pour qu'il soit possible, en pareil cas, de tirer de cette propriété un effet satisfaisant pour la suite du travail. De même, au-dessous de la grosseur correspondante à des mailles de 1 1/2 millimètre de côtés, un classement régulier est rarement possible; pour peu que les matières soient humides, le crible s'obstrue et rien ne passe. D'autre part, si l'on opère dans l'eau, les poussières interposées donnent lieu à une adhérence qui oppose tant à la sortie de ces poussières qu'au libre jeu des pesanteurs spécifiques une résistance plus énergique que toutes celles dont il a été question jusqu'à présent. Il en résulte que le travail devient à la fois dispendieux et très-imparfait.

Du reste, toutes les fois que, d'une manière ou d'une autre, on est parvenu à se débarrasser des parties pulvérulentes, le classement peut être poussé avec avantage jusqu'au calibre des grains restant sur cribles à trous de 1/2 millimètre.

Voici la série théorique qu'on dériverait du premier terme 30 millimètres, au moyen de la différence de 40 à 100 que nous avons déduite de nos observations :

30, 18, 10,8, 6,5, 3,9, 2,3, 1,4, 0,9, 0,5.

Si l'on compare cette série à celle qui nous a servi à classer nos grenailles, série qui est :

30, 18, » 7, 5,5 et 4,

on voit que, sauf le troisième terme de la série théorique qui nous a manqué, les autres termes ne sont pas très-différents de part et d'autre.

C'est précisément l'absence de ce troisième terme qui paraît avoir réagi sur notre seconde classe du tableau n° III, de manière à exagérer la différence entre les volumes des grenailles appartenant aux groupes extrêmes de cette classe. L'anomalie apparente que présente cette classe tenait à cette lacune, elle n'a donc rien qui infirme la convenance de la loi que j'ai indiquée.

Je trouve une confiamrtion plus satisfaisante de cette loi dans cette circonstance que la série à laquelle on a été conduit par la pratique diffère peu de notre série théorique. En effet, si l'on réunit les indications diverses fournies par M. de Hennezel dans son mémoire sur la préparation mécanique du Harz, on trouve que, traduite en millimètres, la série usitée dans ce pays classique aujourd'hui pour l'industrie qui nous occupe est la suivante :

Conditions indispensables et suffisantes pour un classement convenable au moyen de cribles.

30, 24, 18, 13,5, 9, 4 1/2, 2, 1 1/2 (1).

Cette série ne diffère essentiellement de la nôtre que par la présence de deux termes (le second et le quatrième) dont la nécessité est peut être contestable et par l'absence d'un terme (entre le 5e et le 6e) que nos observations porteraient à regarder comme utile.

En combinant entre eux les termes correspondants de ces deux dernières séries et en faisant abstraction de ceux dont l'utilité n'est pas démontrée, on forme la série nouvelle que je propose d'adopter comme série normale des cribles nécessaires à un classement passable :

30, 18, 10, 6, 4, 2, 1 1/2, 1, 1/2.

Cette série a l'avantage de satisfaire d'une part à notre loi de dérivation, de l'autre à la pratique actuelle du Harz, tout en étant exprimée en nombres ronds.

S'il fallait à notre loi une confirmation pratique de plus, on la trouverait dans une région métallurgique qui, depuis quelques années, s'est placée au premier rang pour la bonne disposition de ses préparations mécaniques ; je veux parler de la Silésie. Dans la description des nouveaux procédés de M. de Carnall donnée par M. Delesse (2) on trouve la série suivante :

$1^c,99$, $1^c,30$, $0^c,65$, $0^c,43$, $0^c,32$.

En partant du même calibre, la loi que j'ai déduite de mes recherches donnerait :

$1^c,99$, $1^c,00$, $0^c,72$, $0^c,43$, $0^c,26$.

(1) Annales des mines, 5e liv. de 1843, p. 351 et 352.
(2) *Ib.*, 4e série, t. VI, p. 253.

Ou bien ces deux séries peuvent être considérées comme identiques, ou bien elles accusent, dans la série silésienne, une absence de règle évidente. On voit en effet que la décroissance de la série silésienne est tantôt un peu plus faible que la nôtre, tantôt un peu plus forte, tantôt identique, sans ordre régulier et sans qu'on puisse dire que d'aussi petites différences sont déterminées par expériences, car nos recherches ont suffisamment prouvé qu'en pareille matière des différences de moins de 10 p. 100 n'ont pas d'influence appréciable sur les résultats.

Cette absence de règle cessera désormais si les conclusions précédentes sont adoptées.

Ce n'est pas la première fois qu'on cherche à assujettir à une loi la décroissance des jours ouverts au passage des matières à classer. Dans un excellent mémoire que j'ai déjà cité, cette loi avait déjà été formulée ainsi :

$$eD > Ed \quad \text{d'où} \quad E < \frac{D}{d} e \text{ (1)}.$$

e et D représentent les calibres de deux cribles successifs et d et D les densités de la gangue et du minerai. Appliquée au calibre des grains de densité différente à séparer, cette loi se déduit de la formule que j'ai rapportée au commencement de ce mémoire; mais pour se convaincre qu'elle laisse à désirer, il suffit de considérer que, pour la galène comparée au quartz, des différences de plus de 300 à 100 pourraient exister entre les calibres de deux cribles successifs, si l'on s'en rapportait à la loi précédente, tandis que notre tableau n° IV

(1) Annales des mines, 4ᵉ série, t. IV, p. 373.

montre que, pour le calibre de $4^{mm},44$ comparé au calibre de $1^{mm},50$, une différence aussi grande ne permettrait pas de séparer complétement la galène du quartz ou de la chaux carbonatée.

La formule de M. de Hennezel ne donne qu'un maximum et elle ne peut pas donner autre chose, parce qu'elle fait abstraction de la forme relative des corps à séparer.

Je conclurai finalement de ce qui précède que, si le lavage par précipitation libre ne peut pas être introduit avantageusement dans la préparation mécanique des minerais, ce ne sera pas faute de pouvoir se contenter des classements ordinaires par criblages successifs. Sans multiplier les criblages au delà de ce qui est usité dans les établissements bien tenus, et pourvu que ces criblages soient effectués avec soin au milieu de l'eau et sur des matières agitées en couche mince, le classement en grand aura chance de n'être pas beaucoup plus imparfait que celui qui a servi de point de départ à nos expériences. Il est vrai qu'habituellement les classements par criblage ne sont pas faits avec tous les soins nécessaires, et que les produits présentent des inégalités de calibre plus grandes encore, et surtout en proportion bien autrement notable que ce que nous avons vu; mais il n'est pas impossible de faire beaucoup mieux, sans augmenter le nombre de cribles usités et sans surcroît de frais considérable.

Je pense même qu'on parviendrait à rendre le classement moins imparfait encore et plus économique en même temps, si opérant dans l'eau, ce qui me paraît indispensable de toute façon quand on a affaire à des matières humides, on renonçait à charger directement le crible d'une

Modification proposée au système de criblage usité.

couche plus ou moins épaisse de matière, pour ne faire tomber celle-ci sur le crible que peu à peu, au milieu d'une hauteur d'eau de quelques décimètres.

La matière divisée dans sa chute se présenterait grain à grain aux ouvertures du crible, la suppression du concours de plusieurs grains au passage d'un même trou suffirait déjà, ce me semble, pour accélérer beaucoup le passage, tout en rapprochant davantage le calibre des plus gros grains du calibre des ouvertures du crible, et je ne verrais plus de raison théorique pour que les plus petits grains d'une même classe différassent des plus gros autrement que par le fait des différences de forme. La hauteur des grains pourrait encore comporter des variations notables, mais la section transversale aurait chance de n'offrir pas plus de différence qu'il ne s'en trouve, dans les classements ordinaires entre les sections transversales des grains d'un même groupe choisis dans une classe parmi les grains les plus uniformes à l'œil. Je crois que la voie que j'indique est la seule qui permette d'arriver à un classement plus précis que ceux qu'on obtient communément au moyen des différents systèmes de criblage usités, cribles, rätters ou trommels.

Je me suis assuré qu'en inclinant le crible de 45° environ et en l'agitant par la partie inférieure, à raison d'un trentaine d'oscillations verticales par minute, sur une hauteur maxima de 3 à 4 centimètres, le gros ne s'accumule pas sur le crible et que, par décimètre carré de toile métallique, on peut passer, de cette manière, une centaine de litres de grenailles ou de sables, par heure.

Je ne m'arrêterai pas pour le moment à décrire

un appareil capable de réaliser ce nouveau moyen de classement ; ce sera pour plus tard.

Etude des réactions auxquelles plusieurs grains qui se précipitent simultanément peuvent être exposés.

Reste à rechercher, au point de vue de la séparation des matières par voie de précipitation, si les résultats que nous avons obtenus pour des grains isolés tombant dans un milieu qu'on peut considérer comme indéfini, ne doivent pas subir quelques modifications quand on opère non plus sur des grains isolés, mais sur des masses, seul cas dont la pratique ait à tenir compte.

Dès le début j'ai fait remarquer qu'indépendamment des causes perturbatrices dont j'ai tâché de mesurer l'intensité, il peut en exister d'autres dues à la réaction des matières soit entre elles, soit contre les parois du vase au milieu duquel la précipitation a lieu. Cette réaction peut être *directe* ou *indirecte*. Elle serait directe si les grains les plus rapides poussaient devant eux les plus lents; ou encore si plusieurs grains restaient associés pendant leur chute, de manière à se comporter comme s'ils avaient pour diamètre et pour densité le diamètre du groupe, la densité du mélange. La réaction serait indirecte si chaque grain restant hors du contact de tout autre, la densité du liquide ambiant se trouvait momentanément accrue par la présence des matières en suspension ; ou encore si quelques grains restaient emprisonnés entre d'autres pendant tout ou partie de la descente, de manière à pouvoir être considérés comme renfermés dans un tube étroit dont les parois seraient représentées par une couronne de grains descendant autour de celui dont on s'occupe.

Effet des réactions directes.

L'effet des réactions directes est manifestement nuisible à la séparation des matières de densités différentes. Mais il est difficile de dire quelle peut

être l'importance réelle de cet effet dans une pratique courante qui serait entourée de soins convenables. Je mentionnerai deux observations qui peuvent être à cet égard de quelque utilité.

La première observation est relative au volume maximum de matière qu'il paraissait convenable de projeter à la fois dans notre cylindre de $0^m,20$ de diamètre et de 6 mètres de hauteur. J'ai constaté qu'au delà d'une quantité de gros sable équivalente à un tronçon cylindrique ayant le diamètre de la colonne d'eau et pour hauteur 4 à 5 centimètres seulement, la matière descendait d'abord en bloc sans se laisser pénétrer par l'eau, pour ne se diviser qu'à une certaine profondeur, de sorte que la descente des grenailles les plus apparentes se trouvait sensiblement accélérée. L'accélération paraissait d'ailleurs être la même pour le quartz et pour la galène, et l'effet nuisible consistait, pour la majeure partie de la matière, en une perte de la hauteur de chute, c'est-à-dire en un raccourcissement de la colonne à précipitation. Mais certaines parties extérieures ne participaient pas à l'entraînement de la masse et restaient ainsi en arrière ; ce qui donnait lieu à une confusion très-grande dans les résultats.

Les sables sur lesquels nous opérions étaient très-humides, mais très-maigres, il s'y trouvait des poussières ou schlamms en quantité notable.

Peut-être que si ces sables avaient été projetés sur toute l'étendue de la section de notre colonne, on aurait pu, sans inconvénient, dépasser la faible épaisseur qui vient d'être indiquée ; mais j'avais cru devoir éviter de trop rapprocher les matières des parois intérieures du tube à précipitation et, pour cela, je me servais d'unpetit cylindre à fond

mobile qui avait pour diamètre les trois quarts seulement du diamètre de la colonne. Tant que la hauteur de la capacité remplie de sable ne dépassait pas notablement la moitié du diamètre du cylindre distributeur, le sable se divisait dans l'eau dès l'origine de la chute. On a pu tripler cette hauteur sans accélérer de plus d'un quart la descente des différentes matières, cela du moins pour des grenailles de 4 à 5 millimètres de côté. Pour des matières plus fines l'impénétrabilité de la masse par l'eau ambiante aurait été plus grande et la perturbation plus sensible.

Du reste, nous n'avons rien gagné à retrécir le cylindre distributeur en vue d'éloigner les matières, pendant leur chute, des parois du tube. Au lieu de descendre verticalement, le gros des matières s'épanouissait dans toute l'étendue de la section du tube et descendait suivant une hélice, ce qui empêchait les dépôts de se faire horizontalement sur la base de la colonne à précipitation. J'ai eu occasion de reconnaître que cet effet se manifestait même dans une colonne (unique il est vrai et fermée par le bas) de $0^m,38$ de diamètre intérieur, avec un cylindre distributeur de diamètre trois fois moindre, rempli sur une hauteur de $0^m,25$.

La quantité de matière projetée à la fois ne contribue probablement en rien à ces descentes obliques, car on sait que des grains isolés abandonnés sans vitesse initiale au milieu d'un tube de diamètre vingt fois plus grand que le leur, peuvent aussi descendre obliquement en suivant les parois du tube. Le tableau n° II en fournit un exemple pour un prisme droit à base carrée dont la hauteur était à peu près trois fois égale au côté de la base. Quelques-unes de nos sphères expéri-

mentées dans le tableau n° I ont elles-mêmes offert des exemples de mouvements analogues (1).

On peut conclure de ce qui précède qu'il n'y a pas grand avantage à ne pas laisser tomber les matières sur toute l'étendue de la section de la colonne à précipitation et que, par suite de cette circonstance, qui n'avait pas été prévue dans nos essais, il y a lieu de croire que l'épaisseur de 4 à 5 centimètres indiquée ci-dessus peut être regardée comme un minimum. Mais ce minimum ne pourrait pas être doublé sans inconvénient, du moins pour les sables. Quantité de matière qu'on peut précipiter à la fois.

Peut être faut-il conclure aussi que la forme cylindrique n'est pas celle qui convient le mieux à un tube à précipitation et qu'il pourrait être préférable de faire usage d'une colonne prismatique dont les angles *casseraient* ce mouvement en hélice que la forme cylindrique doit favoriser et probablement même provoquer. Forme de la colonne à précipitation.

La seconde observation que j'ai à rapporter à propos des réactions directes est relative à l'effet de l'agglomération des matières sèches. Dans la série d'expériences qui a donné lieu au tableau n° IV, cet effet s'est particulièrement manifesté pour les matières fines passant à travers le tamis de batiste et d'une manière plus prononcée pour la galène et la pyrite que pour les autres substances. Lorsqu'on n'avait pas soin de mouiller préalablement les matières avant de les abandonner à la surface de l'eau, il leur arrivait souvent de tomber en boules accompagnées parfois de bulles d'air, ce qui ne les empêchait pas de descendre deux ou trois fois plus vite que ne faisaient les

(1) Voir pour ces tableaux la livraison précédente.

poussières de même nature et de même calibre quand on avait pris les précautions convenables pour assurer leur indépendance pendant la chute.

Pour ce qui est des chocs possibles de la part des grains rapides contre les grains lents, je n'ai pas d'expériences à citer, mais l'effet nuisible dû à cette cause ne doit pas être très-prononcé, car il n'est possible qu'au point de départ, à un moment où l'agitation de l'eau causée par l'immersion du sable doit bien vite séparer les grains d'inégale vitesse qui pourraient se trouver superposés.

Effet des réactions indirectes.

Quant aux réactions indirectes, elles sont moins saisissables par elles-mêmes. Pour apprécier l'effet des résistances dues à cette cause complexe, je me suis cru obligé de recourir à deux hypothèses différentes qui, relativement aux grenailles et aux sables et très-probablement aussi pour les poussières, paraissent conduire au même résultat. On jugera si ces hypothèses sont admissibles. J'ai supposé, ainsi qu'on l'a vu précédemment, que les résistances causées par les réactions indirectes pouvaient être considérées comme analogues à celles que produirait pour un grain isolé, soit un rapprochement convenable des parois du tube, soit une augmentation de densité du milieu dans lequel se fait la précipitation.

Les matières soumises à cette nouvelle série d'expériences ont été classées au moyen des douze cribles à trous ronds dont nous nous étions déjà servi pour les expériences précédentes. On a opéré sur des grains de calibre sensiblement uniforme, choisis parmi les plus gros de ceux qui avaient passé par les trous n°s 1, 4, 7 et 11 dont les diamètres figurent sur notre tableau n° IV.

Eu égard à la variation du calibre des grains (variation qui a eu lieu dans le rapport de 1 à 4 au moins relativement aux dimensions), j'ai cru pouvoir me dispenser de faire varier le diamètre du petit tube vertical dans lequel les grains étaient jetés un à un. Ce diamètre était de 10 millimètres et la hauteur d'un mètre. Le grand tube pareillement vertical qui avait été pris pour terme de comparaison avait même hauteur et $0^m,12$ de diamètre. Peut-être eût-il mieux valu employer un tube de $0^m,20$, c'est-à-dire de même diamètre que ceux qui avaient servi à former notre grande colonne; cependant la différence entre les deux diamètres de $0^m,12$ et de $0^m,20$, semble avoir été sans influence notable sur les résultats, à en juger du moins par les temps de chute des plombs de chasse précipités d'une part dans le tube de $0^m,20$ pendant les expériences qui ont donné lieu au tableau n° I, de l'autre dans le tube de $0^m,12$ pendant les expériences suivantes, qui ont donné lieu au tableau n° IV.

On a eu soin d'opérer successivement sur les mêmes grains dans le tube de $0^m,12$ de diamètre et dans celui de $0^m,01$. Quand on opère sur un petit nombre de grains, cette précaution est de toute nécessité pour avoir des résultats concluants.

Quant aux densités des liquides mis en expérience comparative, elles ont varié de 1 à 1.508.

Si ces variations du calibre du tube et de la densité du liquide ne sont pas tout à fait suffisantes pour représenter les plus grandes variations qui peuvent, à la rigueur, se présenter dans le cours des préparations mécaniques ordinaires, elles suffisent pour les minerais bruts les plus fréquents, et elles sont très-larges par rapport à un système de lavage

qui serait fondé sur la précipitation libre. En effet, nous avons vu que la précipitation libre, au milieu d'une eau dormante, paraissait exiger une profondeur d'eau d'au moins un mètre, et que l'épaisseur de la masse de minerai brut qu'on pouvait laisser tomber à la fois sur toute l'étendue de la section de la colonne était comprise entre 5 et 10 centimètre : or, pour la galène, par exemple, comparée au quarz, on voit, d'après les tableaux n[os] III et IV, que lorsque les premiers grains métalliques arriveraient au bas de leur chute, la totalité de la matière projetée se trouverait répandue dans les trois quarts au moins de la hauteur totale de la colonne d'un mètre; ce serait de 1/2 à 1 décimètre cube de sable au milieu de 7 litres d'eau environ et la densité moyenne du mélange serait de 1.250 au plus, pour un minerai brut tenant 50 p. 100 de galène. Cette richesse est un maximum qui sera bien rarement atteint, de sorte que, pour les trois quarts au moins de la chute, notre densité maxima 1.508 serait plus que suffisante. On trouve qu'en supposant toujours le mélange de quartz et de galène à la teneur de 50 p. 100 de galène, cette densité suffirait moyennement à partir de l'instant où le sable projeté serait enveloppé de deux fois son volume d'eau. Or cela arrive immédiatement après le premier septième de la chute d'un mètre, lorsqu'à bien dire, le minerai ne fait que d'être introduit dans l'eau.

Ainsi pour l'hypothèse de l'accroissement de densité du milieu ambiant, nous avons, dans notre liquide à densité égale à 1.508, de quoi faire face à tous les cas de précipitation probables. Cette série d'expériences ne pêche que par un point, la petitesse du tube que nous avons été obligés d'em-

ployer pour contenir les liquides plus denses que l'eau.

Relativement à l'hypothèse du rapprochement des grains agissant à la manière du rapprochement des parois d'un tube en verre, les données de nos expériences embrassent des conditions plus étendues encore que pour l'hypothèse des accroissements de densité du milieu ambiant, car, par rapport aux plus gros grains soumis à cette nouvelle série d'expériences, le petit tube ne représentait qu'une capacité quatre fois aussi grande seulement que le volume des grains qui auraient pu y tenir les uns au-dessus des autres, c'est-à-dire que les résultats propres à ces gros grains peuvent s'appliquer au moment de la précipitation où le minerai ne se trouve encore en présence que de trois fois son volume d'eau. Ces résultats doivent même être considérés comme des maxima pour ce cas-là, en raison de la continuité et de la rigidité des parois du tube, qui doit opposer à la descente une résistance bien plus grande que l'entourage discontinu des grains en suspension au milieu de l'eau.

Donc si les limites adoptées sont insuffisantes, ce ne pourrait être que par rapport aux préparations mécaniques ordinaires. Pour celles-ci, le cas où la matière à laver est en suspension au milieu de la plus petite quantité d'eau me paraît être le cas du travail aux cribles à piston où j'estime que, pendant l'action mécanique, un grain de minéral se trouve en présence d'un volume d'eau au moins trois fois égal au sien. Ce cas, nous l'avons réalisé comme on vient de le voir pour une de nos hypothèses : pour l'autre, nos données ne seraient directement applicables que par rapport à un mi-

nerai brut dont la densité moyenne ne dépasserait pas 3.000. Or cela arriverait pour tout mélange de quartz et de galène qui contiendrait moins de 10 p. 100 de galène, pour tout mélange de quartz et de blende qui contiendrait moins de 60 p. 100 de blende, etc., à plus forte raison pour un mélange quelconque de houille. Par conséquent, même au point de vue des préparations mécaniques ordinaires, les données des expériences suivantes suffisent pour la plupart des cas.

Les liquides plus denses que l'eau n'ont été expérimentés que dans le petit tube de 10 millimètres. Il aurait été préférable de pouvoir opérer dans un tube de calibre beaucoup plus grand, pour n'avoir pas à éliminer par calcul l'influence du rétrécissement du tube. Nous avons agi comme nous l'avons fait, faute de pouvoir nous procurer à temps une quantité suffisante de sulfate de zinc. Les résultats semblent montrer que nos conclusions n'ont pas eu à souffrir de cet inconvénient.

Tableau n° V relatif à la précipitation des mêmes grains dans des tubes de différents diamètres et dans des liquides de densités différentes.

DÉSIGNATION des substances.	ORDRE de grosseur.	POIDS MOYEN d'un grain.	VOLUME correspondant (calculé).	DURÉE DE LA CHUTE. Eau ordinaire. Densité : 1.000. Grand tube de 0m,02 de diamètre.	Eau ordinaire. Densité : 1.000. Petit tube de 0m,05 de diamètre.	Dissolution de sel marin. Densité : 1.212.	Dissolution de sulfate de zinc. Densité : 1.508.
	numéros.	gr.	m/m³				
Plomb de chasse.	1	0,409	36,680	1"04	1"11	»	1"58
Densité : 11,15.	4	0,257	23,05	1 15	1 27	»	1 68
	7	0,051	4,52	1 40	1 46	»	1 90
Galène à grandes facettes.	A	0,733	99.25	1 86	3 25	»	»
	B	0,268	35,65	2 15	2 66	»	»
	1	0,139	18,65	2 61	2 99	3"19	3 85
Densité : 7,36.	4	0,075	9,82	2 77	3 10	3 60	4 22
	7	0,031	4,15	3 04	3 30	3 57	5 36
	11	0,0105	1,46	3 61	4 07	5 45	6 87
Pyrite cristallisée en cube avant le broyage.	1	0,101	21,35	2 82	3 47	3 80	3 15
Densité : 4,73.	4	0,040	8,54	3 21	3 61	4 35	3 37
	7	0,022	4,71	3 65	4 08	4 78	5 95
	11	0,0045	0,95	5 14	5 76	7 11	9 30
Quartz non cristallisé.	A	0,272	104.48	3 71	7 36	»	»
	B	0,115	43,65	4 20	5 50	»	»
	1	0,060	23,16	4 75	5 64	6 73	5 78
Densité : 2,59.	4	0,020	7,72	5 65	6 35	7 40	10 23
	7	0,0093	3,58	6 59	7 43	8 58	14 19
	11	0,0017	0,65	10 78	11 45	13 02	23 35
Houille pseudo-rhomboédrique.	A	0,140	110,23	7 68	20 00	»	»
	B	0,051	40,15	9 66	14 02	»	»
	1	0,024	18,89	11 89	14 93	29 80	»
	4	0,0148	11,49	13 45	15 79	33 90	»
Densité : 1,27.	7	0,0067	5,27	15 77	18 54	42 36	»
	11	0,0013	1,02	25 86	28 95	65 63	»

En lisant ce tableau il faut se rappeler que les grains minéraux descendent plus volontiers suivant une hélice que verticalement ; c'est sans doute ce qui explique à la fois la gêne sensible qu'éprouvent des grains de 1 millimètre de côté dans un tube de 10 millimètres de diamètre, et la résistance considérable que des grains de 4 à 5 millimètres au plus, comme ceux de la première classe, rencontrent de la part des parois du même tube. Malgré les soins qu'on avait pris d'opérer sur des grains choisis parmi les plus uniformes, il y a eu des variations fort notables dans les douze ou quinze observations qui ont servi à établir chacun des chiffres portés au tableau précédent : ces variations n'ont rien qui doive surprendre ; elles ne sont pas probablement plus grandes que les variations auxquelles pouvaient être sujettes la forme et la section transversale de nos grains. Or le tableau n° II nous a déjà fait voir que des corps de formes régulières et sensiblement identiques pouvaient offrir dans leurs temps de chute des variations fort importantes, en raison sans doute de la manière dont ces corps se présentaient à l'eau au moment de leur immersion. En outre, ici comme pour nos recherches précédentes, les temps observés ne sont exacts qu'à 1/4 de seconde près. Il ne faut donc pas, dans l'interprétation des résultats, prétendre à une constance et à une précision parfaite des relations que nous allons tâcher d'établir entre les éléments dont nous voulons mesurer l'influence.

Pour corriger autant que possible les causes d'inexactitude qui résultent de la nécessité où j'ai été de faire abstraction de la forme et de la section transversale, c'est-à-dire de deux éléments dont l'influence est incontestable, j'ai réuni en une

seule moyenne les quatre séries d'observations correspondantes, pour chacune des quatre classes de sables, aux quatre minéraux soumis à nos expériences, et ce sont ces moyennes que j'ai comparées entre elles en vue de juger l'influence du rapprochement des parois du tube sur des grains de calibres différents. Quant à ces calibres, à défaut de mesures plus positives, ils ont été calculés d'après les volumes des grains, en les supposant proportionnels aux racines cubiques des volumes.

Influence du calibre des grains sur la résistance au mouvement au milieu d'un tube de diamètre donné.

En examinant le tableau n° V, dans cet esprit, on en déduit d'abord cette conclusion générale que les résistances dues aux rapprochements des parois intérieures du tube croissent avec le calibre des grains, de sorte que pour des variations de volume représentées par les moyennes suivantes :

$1^{mm^3},030$, $4^{mm^3}330$, $9^{mm^3},340$, $20^{mm^3},220$,

les résistances, c'est-à-dire les accroissements des temps de chute par rapport à ce qui se passe dans le grand tube, sont moyennement comme les nombres :

1, 2, 2.2, 3.

Ces derniers nombres ne paraissent pas différer beaucoup des racines cubiques des volumes, lesquelles seraient :

1, 1,64, 2,11, 2,73.

Si deux des quatre nombres qui expriment les résistances dues au rapprochement des parois du tube sont notablement plus grands que les racines cubiques, la différence peut tenir à ce que nos grains n'étant pas cubiques, ils descendaient généralement à plat, et que, par suite, la dimension influente, qui devait être prise dans le sens horizontal, se trouvait ainsi plus grande en réalité

que la racine cubique des volumes. Je serais donc porté à induire des résultats précédents que, pour un même tube et des grains de calibres différents, la résistance due au rapprochement des parois est proportionnelle à la racine carrée de l'aire de la projection de chaque grain sur un plan horizontal, en supposant le grain dans la position qu'il occupe dans l'eau quand il s'y trouve en suspension.

Cette loi, qui concorde assez bien avec les résultats afférents aux n[os] 1, 4, 7 et 11 du tableau n° V, n'est plus applicable aux n[os] A et B. Pour ceux-ci (qui dans notre hypothèse doivent être considérés comme correspondant à la plus grande concentration possible d'une masse de grains précipitée simultanément), bien que la section transversale ne soit encore que le quart ou le tiers au plus de la section du tube pour le n° A, et le septième seulement pour le n° B, la descente se trouve entravée au point que la mesure des résistances devient 3 1/2 fois et 1 1/2 fois aussi grande que celle qu'on déduirait de la loi précédente. Cette résistance double le temps de chute pour le quartz n° A : l'augmentation est de plus de 1 1/2 fois pour la houille; elle n'est que de 3/4 en sus pour la galène. Pendant la descente des grains de ce dernier minéral, on l'entendait heurter contre les parois.

Influence de la densité des grains sur la résistance due au rapprochement des parois du tube.

Ces accroissements dans la durée des temps de chute, par rapport à ceux qui sont propres au quartz, à la houille et à la galène dans un milieu indéfini, semblent varier, comme on vient de le voir, en raison inverse des densités des substances : l'exacte mesure de ces variations paraît être donnée par le rapport inverse des racines carrées de ces densités. En effet, pour les trois substances

dont il s'agit, les densités respectives étaient 7,46 pour la galène, 2,59 pour le quartz, et 1,27 pour la houille : les racines correspondantes prises en raison inverse sont entre elles comme les nombres 60, 100 et 145. Or entre ces nombres et ceux qui mesurent les accroissements de résistances propres au n° A, on peut s'assurer qu'il n'y a que des différences inférieures à celles qui existent entre les éléments suffisamment rapprochés pourtant qui ont servi à établir nos moyennes.

Ce n'est pas seulement pour le n° A que les variations de résistances ont lieu d'un minéral à l'autre, en raison inverse des racines carrées de leurs densités. Cette loi se manifeste d'une manière plus précise encore pour les sables n°s 1, 4, 7 et 11, comme on peut s'en assurer en comparant soit le quartz au plomb granulé, soit le même plomb granulé à la houille.

La racine carrée de la densité du plomb est de 3,35, celle de la densité du quartz est 1,61, le rapport des deux nombres est celui de 208 à 100. Or la moyenne des observations relatives aux n°s 1, 4 et 7, les seules que nous possédions pour le plomb de chasse, assigne au quartz une résistance de 0,143 pour la descente dans le tube de 10 millimètres comparée à la descente dans le tube de 120 millimètres; tandis que cette résistance n'est que de 0,070 pour le plomb : c'est entre les deux nombres le rapport de 204 à 100, au lieu de 208 à 100 trouvé par calcul.

Même confirmation de la loi pour la houille comparée au plomb de chasse.

Pour des différences de 1 à 3 entre les racines carrées des densités de la houille et de la galène, le tableau n° V donne une différence moyenne

de 0,20 à 0,07 entre les résistances éprouvées par chacun des deux minéraux dans leur descente au milieu du tube de 10 millimètres.

Influence du rapprochement pendant la précipitation.

La loi indiquée se trouve donc parfaitement établie, dans tous les cas.

Finalement il semble résulter de l'ensemble de nos expériences relatives à l'influence du rapprochement des parois du tube :

1° Que les résistances dues au rapprochement des parois du tube sont sensibles même pour des grains dont la section transversale ne représente guère que la 80e partie de la section du tube, et que, dans ces conditions, la résistance accusée par le tableau paraît être de 6 à 12 p. 100 pour la galène, le quartz et la houille, relativement à la vitesse que prennent les mêmes grains dans un tube de diamètre douze fois plus grand, aux parois duquel les grains ne viendraient pas frotter.

2° Que ces résistances sont directement proportionnelles, pour un même tube, à la racine carrée de la section transversale des grains; cela pour des sections transversales des grains dont les limites paraissent être de nature à varier de 1 à 10 centièmes au moins de la section du tube.

3° Qu'au delà, la circulation des grains devient gênée à un degré de plus en plus grand, jusqu'à ce qu'elle se trouve complétement arrêtée par le contact contre les parois en plusieurs points à la fois; ce à quoi les grains d'une même classe sont d'autant plus exposés que leur forme leur donne plus de tendance à descendre à plat.

4° Enfin que les résistances dues au rapprochement des parois du tube sont inversement proportionnelles aux racines carrées des densités des corps qui se précipitent dans le tube; cela

dans toute l'étendue des limites qu'embrassent les expériences consignées dans notre tableau n° V.

La conclusion pratique de ces différents faits est que, si l'on pouvait considérer l'action réciproque de plusieurs grains qui se précipitent ensemble comme de nature à engendrer une résistance au mouvement analogue à celle qui naît du rapprochement des parois d'un tube, au milieu duquel un grain unique est abandonné à lui-même, les conditions de la chute dans un liquide ne seraient pas les mêmes pour un grain isolé que pour une masse de grains.

La réaction latérale de plusieurs grains tombant ensemble et agissant l'un sur l'autre serait capable de retarder proportionnellement davantage les grains les moins denses, et cela d'autant plus que les grains seraient plus rapprochés. Le maximum de cet effet consisterait à tripler le temps de chute propre à un grain isolé de houille, à doubler le temps du quartz, et à augmenter de trois quarts en sus le temps de la galène. Mais ce maximum ne semble pas devoir être atteint en raison de cette circonstance, qu'à égale quantité de liquide ambiant la mobilité des différents grains en suspension ne semble pas capable de donner lieu à une résistance à leur chute aussi énergique que celle qui naît de la part des parois continues et rigides d'un tube, soit par suite du remous du liquide emprisonné qui se trouve déplacé de bas en haut à mesure que le grain descend, soit par suite des chocs contre la paroi du tube.

Il est un point où l'effet du rapprochement des parois du tube pourrait se reproduire dans une précipitation en masse; c'est au pourtour intérieur de la capacité au milieu de laquelle on précipite-

rait les matières à séparer ; mais là encore cet effet serait moins prononcé qu'il ne l'était dans notre petit tube pour les grenailles de calibre n° A, parce que, dans un travail en grand, les grains ne pourraient rencontrer et heurter une paroi rigide que d'un côté et sur une très-petite partie de leur contour.

Du reste, l'effet général des réactions dont nous nous occupons serait favorable, de toute façon, à la séparation des matières métalliques d'avec leurs gangues, aussi bien au milieu de la colonne à précipitation qu'à sa périphérie, et s'il arrivait qu'au voisinage des parois intérieures, le double effet du rapprochement des grains et du rapprochement de ces parois donnât lieu à une différence entre les temps de chute plus grande qu'au milieu de la colonne où l'effet serait simple, il suffirait, pour rétablir l'uniformité, de projeter une plus grande épaisseur de matière au milieu de la colonne que sur le bord.

On va voir que l'hypothèse de l'accroissement de densité du milieu ambiant conduit à des résultats tout aussi concluants à l'égard des grenailles et des sables. Ce n'est que pour les matières métalliques en paillettes que l'accroissement de densité du liquide serait un obstacle de plus à la séparation.

Il y a tout lieu de croire d'ailleurs qu'à cet égard le rapprochement des parois du tube aurait, de son côté, le même effet.

Influence de l'accroissement de densité du liquide sur les temps de chute.

D'après les principes énoncés au commencement de ce mémoire les vitesses d'un même corps tombant au milieu de liquides de densités différentes doivent être entre elles en raison inverse des racines carrées des densités de ces liquides.

Si donc on représente par 100 la durée de chute

d'une substance dans l'eau ordinaire, on devrait avoir 110 pour la durée de chute de la même substance dans la dissolution du sel marin dont je me suis servi, et 123 pour la durée de chute dans notre dissolution de sulfate de zinc, deux dissolutions dont les densités sont indiquées dans le tableau n° V, ainsi que celles des substances mises en expérience.

Au lieu de 110, nous avons eu :

De 107 à 126 pour la galène,	moyennement. . .	114
De 109 à 123 pour la pyrite,	*id.* . . .	117
De 113 à 1.9 pour le quartz,	*id.* . . .	115

Au lieu de 123, nous avons eu :

De 127 à 142 pour le plomb granulé,	moyennement.	133
De 129 à 169 pour la galène,	*id.* . . .	149
De 146 à 161 pour la pyrite,	*id.* . . .	151
De 155 à 203 pour le quartz,	*id.* . . .	177

Ces résultats permettent de dire que la dissolution de sel marin, comparée à l'eau, a pleinement confirmé notre formule pour la galène, la pyrite et le quartz. Il semble toutefois qu'au lieu d'être absolument indépendantes de la densité du corps et de la grosseur des grains conformément aux indications de la formule, la résistance relative à l'accroissement de densité du fluide montre une légère tendance à croître à mesure que ces éléments diminuent; mais cette tendance n'est ni assez constante ni assez prononcée pour qu'on soit en droit d'en tenir compte, lorsqu'on ne se règle comme nous le faisons que sur les données de l'expérience.

Il n'en est plus de même pour notre dissolution de sulfate de zinc : la tendance que j'ai signalée reparaît plus nettement, et le chiffre déduit de la formule ne se retrouve plus, même parmi les

minima. La différence qui était moyennement nulle par rapport à ces minima, quand il s'agissait d'eau salée comparée à l'eau douce, cette différence devient positive pour la dissolution de sulfate de zinc, et dépasse de 16 p. 100 le chiffre que donne la formule. La même dissolution comparée à l'eau salée présente encore une différence de 10 p. 100 entre les temps de chute observés et ceux que donnerait le calcul, bien que les deux liquides ne diffèrent pas sensiblement plus entre eux que l'eau salée ne différait de l'eau douce.

Lorsqu'au lieu de se borner à considérer les substances communément associées dans les minerais métalliques on descend à la houille, c'est-à-dire à un minéral dont la densité se rapproche davantage de celle de nos liquides, la dissolution du sel marin elle-même cesse de satisfaire aux rapports de vitesse déduits de la formule, et, relativement à ce qui se passe dans l'eau douce, on observe, dans cette dissolution, des écarts bien autrement grands que ceux dont il vient d'être question. Dans ce cas, au lieu de 110 on a 216, moyennement.

Enfin, la même houille flotte sur la dissolution de sulfate de zinc, ainsi qu'on devait s'y attendre, en consultant le raisonnement de préférence à la formule, qui n'est évidemment plus applicable dans ces cas extrêmes. En effet, un corps abandonné au milieu d'un fluide rencontre pour obstacle à sa descente une force équivalente au poids du volume du fluide déplacé par ce corps ; pour que la formule pût être d'un usage général, il faudrait qu'elle contînt cet élément sous forme négative disposée de manière à pouvoir annuler l'expression de la vitesse, lorsque la densité du fluide devient égale à celle du corps.

Voilà donc une nouvelle lacune dans la formule théorique, lacune qui devrait être comblée si nous n'avions pas fait voir précédemment que cette formule ne peut pas être d'une utilité réelle dans la pratique.

Il est intéressant néanmoins d'avoir constaté que, pour le cas qui nous occupe et par rapport aux minerais métalliques, elle convient encore aux circonstances ordinaires des préparations mécaniques.

Si, revenant à l'ensemble des observations relatives à l'influence de la densité du liquide ambiant, on étudie les trois dernières colonnes du tableau n° V au point de vue du rôle que la forme et le calibre des grains précipités peuvent jouer dans la précipitation, on se trouve porté à induire de nos observations :

Que pour des corps sphériques de même densité la résistance due à la densité du fluide est indépendante du calibre des grains. Nouvelle confirmation de la formule théorique.

Au contraire, pour quelques-uns des minéraux soumis à nos expériences, cette résistance paraît croître sensiblement, non-seulement à mesure que la densité des corps précipités diminue, comme nous venons de le voir ci-dessus, mais en même temps et d'une manière plus prononcée encore à mesure que le calibre des grains devient moindre.

Cette dernière relation entre la densité du fluide et le calibre des grains ne ressort régulièrement du tableau n° V que pour la galène et le quartz, mais plus particulièrement pour la galène; tandis que des quatre séries de grains de pyrite mis en expérience, les trois premières ne se sont nullement ressenties de l'influence dont il

s'agit, bien que pour ces trois séries le volume moyen des grains précipités varie de 45 à 10.

L'influence du calibre n'a reparu que pour la quatrième série, dont le volume moyen diffère du volume moyen des grains de la série qui la précède dans le rapport de 50 à 10.

Il y a donc lieu de croire qu'en ceci c'est moins le calibre que la forme qui agit. En effet, déjà nous avons eu lieu d'établir que les grains de notre pyrite étaient plus rapprochés de la forme sphérique que les grains de galène; mais cette disposition paraît cesser au-dessous d'un certain état de grosseur voisin des sables de la quatrième classe du tableau n° IV. De même nous savons que plus notre galène était divisée plus elle donnait lieu à des grains aplatis, forme que notre quartz affectait volontiers pour tous les calibres. Ces différentes circonstances me sembleraient devoir conduire à cette autre conclusion, qui comprendrait la première, à savoir : que la résistance due à la densité du liquide ambiant est d'autant plus grande que la forme des grains est moins concentrée.

Pour notre quartz rubané, qui représente la forme la moins concentrée, les temps de chute dans un milieu une fois et demie aussi dense que l'eau sont moyennement doublés pour les différents calibres, tandis que pour la galène ils ne sont augmentés que de 1/3 environ pour les gros sables et de 3/4 à 9/10 pour les sables fins. Par conséquent, pour les lamelles, ces temps de chute seraient probablement au moins doublés comme pour notre quartz et cela sans doute indépendamment du calibre des grains, comme pour le plomb de chasse.

La conséquence pratique des différents faits qui

viennent d'être exposés est que si l'on pouvait considérer l'action réciproque de plusieurs grains qui se précipitent ensemble comme de nature à engendrer une résistance au mouvement analogue à celle qui naîtrait d'un accroissement de densité du liquide ambiant, cette résistance serait plus prononcée pour les substances les moins denses et d'autant plus que la densité du liquide serait plus grande, ce qui favoriserait la séparation des substances métalliques d'avec leurs gangues : mais que cet effet utile cesserait pour celles de ces substances métalliques qui se présenteraient sous forme de fibres, d'écailles, de lamelles ou de paillettes, circonstances plus fréquentes parmi les sables fins que parmi les gros sables et les grenailles.

Ainsi, de quelque façon que l'on considère l'effet des réactions indirectes, on arrive toujours à ce même résultat que, par rapport aux grenailles et aux sables, ces réactions ne paraissent pas capables de rendre la séparation des minéraux plus difficile qu'on ne l'inférerait des expériences faites sur des grains isolés.

Nous pouvons donc maintenir sans restriction le résumé que nous avons donné, en son lieu, des effets à attendre de la précipitation libre par rapport à la séparation des différentes substances qui ont été l'objet de nos recherches, savoir : que, relativement aux grenailles et aux sables, un procédé fondé sur la précipitation libre promettrait de n'être pas inférieur aux procédés ordinaires. Il semblerait même devoir être parfait par rapport à des substances aussi différentes par leur densité et leur structure que la galène et le quartz ou que le quartz et la houille. Conclusion définitive.

Ce n'est que pour les poussières et les parcelles aplaties ou fibreuses que ce procédé serait incomplet, et comme, avec tout autre procédé, les poussières donnent également des résultats qui laissent beaucoup à désirer, on peut conclure, en second lieu, que, quelque système de lavage qu'on ait en vue, il convient toujours, dans le broyage des minerais, de mettre tous ses soins à produire le moins de fin possible.

Quant à ce qui est des paillettes très-minces, le mode de broyage n'est sans doute pas sans influence sur leur production, mais elle dépend, avant tout, de la structure des matières et il faut reconnaître que la plupart des procédés anciens présentent, pour leur séparation, des ressources qui manquent totalement à la précipitation libre.

Nouveau moyen d'essai applicable aux combustibles minéraux.

Le tableau N° V donne pour la houille déposée sur les dissolutions salines des résultats qui méritent de fixer l'attention.

Comme on pouvait s'y attendre, la houille dont la densité était égale à 1.27 tombait très-lentement dans la dissolution du sel marin à densité égale à 1.21 et flottait sur la dissolution de sulfate de zinc dont la densité montait à 1.50; le quartz au contraire, dans les mêmes circonstances, tombait avec une vitesse assez grande encore. On peut estimer cette vitesse à 6 ou 12" par mètre pour les sables compris entre les n°ˢ I et II, et pour un liquide qui aurait à peu près la densité de la houille. Cette vitesse du quartz est moins grande de 1/5 environ que celle du même quartz dans l'eau ordinaire. Si la même proportion subsiste pour le ralentissement de chute propre aux sables fins de la même substance analogues aux n°ˢ V et VI de notre tableau n° IV, ces sables mettraient de 10

à 45 secondes au plus, moins de 50 secondes à coup sûr, pour tomber de 1 mètre dans un liquide qui aurait pour densité une densité un peu supérieure à celle de la houille pure.

De cette circonstance on peut, ce semble, déduire un moyen d'essai extrêmement facile pour constater la proportion de matières pierreuses ou pyriteuses qu'un combustible minéral peut contenir. La densité de ces matières étant considérablement plus grande que celle des combustibles purs les plus denses, il suffirait d'agiter le combustible à essayer avec une quantité convenable d'un liquide de densité égale ou même un peu supérieure à celle du combustible, pour que, en moins d'une minute, la majeure partie des impuretés se trouvât séparée, par précipitation au fond du vase qui contiendrait le mélange. On les retirait pour les examiner et les mesurer par rapport à la quantité de matière brute soumise à l'essai. La précipitation des impuretés serait indépendante de toute condition de calibre et de forme; il serait donc inutile, pour cet essai, de classer préalablement le combustible et de l'amener à un état de division déterminé. Le degré de grosseur des fragments dont le mélange à essayer devrait se composer serait exclusivement subordonné à la condition de détruire l'adhérence qui existe dans les fragments d'un certain volume entre le combustible et les matières étrangères. Mais, comme celles-ci peuvent être amenées sans inconvénient à l'état de finesse de nos sables les plus fins, il serait probablement bon de concasser à l'état de fine grenaille ou de sable moyen, sans tamisage, l'ensemble des prises d'essais dont on voudrait constater la pureté, au moyen de la pré-

paration mécanique que j'indique. En élevant ou abaissant la densité du liquide employé, on obtiendrait des résidus plus ou moins exempts de parties charbonneuses et l'on pourrait ainsi rendre beaucoup plus rare la nécessité d'essais par incinération. Ces essais ne seraient plus nécessaires qu'à la première présentation d'un combustible nouveau, pour constater la quantité de cendres propre au combustible lui-même, celle qu'on ne peut pas séparer mécaniquement. En même temps on aurait à rechercher la densité des fragments choisis qu'on voudrait prendre pour types et qui devraient servir à régler la densité du liquide d'épreuve.

Pour la composition de ce liquide, le sulfate de zinc plus ou moins étendu d'eau sera toujours suffisant. Peut-être pourrait-on le remplacer par d'autres sels, tels que le sulfate de fer, le nitre, le chlorure de calcium ou autres substances extrêmement solubles.

Un pèse-liqueur gradué en raison des densités différentes des différents combustibles servirait à établir le degré de la liqueur d'épreuve.

Une éprouvette graduée dans laquelle on tasserait le résidu étranger provenant de chaque essai servirait à établir immédiatement le degré d'impureté du combustible, pourvu qu'on eût soin d'opérer toujours sur un même volume de matière.

Un agitateur pour mettre la matière en contact du liquide, de manière à la mouiller entièrement, une petite écumoire pour enlever la houille surnageante et une loupe pour examiner les parties étrangères, après leur séparation, compléteraient les instruments nécessaires à ce nouveau moyen

d'essai. Il serait extrêmement expéditif si l'on voulait se contenter d'une approximation et d'autant plus précis qu'on mettrait plus de soin à recueillir séparément les trois produits qui peuvent se présenter dans chaque opération, savoir la partie flottante, la partie restée en suspension et le dépôt des impuretés.

Si la simplicité que j'attribue à ce procédé se trouvait confirmée par la pratique, il permettrait peut-être de soumettre les combustibles, partout où on les emploie, à des investigations aussi fréquentes et aussi précises que celles auxquelles les établissements métallurgiques sont impérieusement tenus pour les minerais métalliques, sous peine de marcher aveuglément et d'être constamment surpris par des variations dont la cause leur échappe.

Sous ce rapport, ce nouveau moyen d'essai pourrait avoir une heureuse influence non-seulement sur les perfectionnements que réclame la préparation mécanique des combustibles minéraux, mais encore sur ceux que comportent la plupart des industries qui font usage de ces combustibles à l'état cru.

Autre projet d'essai mécanique d'une application générale.

Pour les minerais métalliques il serait malaisé de trouver un liquide de densité convenable qui fût maniable sans inconvénient; mais je n'en crois pas moins possible d'introduire avec avantage les moyens mécaniques au nombre des moyens d'essai communément employés. Sans prétendre suppléer les essais par voie sèche, et encore moins l'analyse chimique, les essais mécaniques auraient l'immense avantage d'être à la portée de la pratique courante des ateliers et de donner, en quelques minutes, des notions assez approchées sur

la proportion des substances à densités différentes que l'échantillon à essayer contiendrait.

C'est sur la précipitation des matières au milieu d'une hauteur d'eau suffisante que serait basé le moyen d'essai mécanique que je conçois. On commencerait par diviser l'échantillon en le broyant dans un mortier; seulement, au lieu de le broyer finement ou même de le porphyriser, comme il faut le faire pour l'analyse chimique, on se contenterait de le concasser en fine grenaille ou en gros sable, jusqu'au point convenable pour isoler les gangues du minerai, en prenant les soins nécessaires pour produire le moins possible de poussière. La matière broyée et préalablement mouillée serait projetée tout d'un coup dans un tube en verre d'un mètre de hauteur, je suppose, droit, plein d'eau, et disposé de manière qu'on pût ouvrir ou fermer à volonté l'une ou l'autre de ses deux extrémités. Il faudrait, par exemple, que lorsqu'on va projeter la matière à essayer au milieu de l'eau renfermée dans le tube, l'extrémité inférieure se trouvât hermétiquement fermée, et qu'au contraire, aussitôt la projection faite, l'orifice supérieure fût hermétiquement clos à son tour, et l'autre bout librement ouvert au milieu d'une cuvette d'eau. Cela étant, si l'on projetait un mélange de grenailles de galène et de quartz analogues à celles qui forment les quatre classes de notre tableau n° III, on voit qu'après la deuxième seconde, la totalité de la galène serait tombée et aurait pu être recueillie dans la cuvette sur une petite capsule qu'on retirerait aussitôt que le quartz paraîtrait au bas du tube. Sauf peut-être un ou deux fragments de quartz faciles à trier, les grains de ce minéral ne se présenteraient au bas du

tube qu'entre la deuxième et la douzième seconde. On les laisserait tomber dans une autre capsule. La séparation se trouverait ainsi opérée avec une rapidité extrême et très-complétement. Il en serait de même si on projetait ensemble les trois premières classes de sable qui figurent dans notre tableau n° IV : de même encore pour les deux classes suivantes réunies. Les poussières échapperaient seules à ce moyen d'essai ; encore permettrait-il d'en doser directement la majeure partie du contenu en galène et de juger la richesse du reste approximativement, à l'œil nu ou à la loupe.

On voit donc qu'il suffirait de broyer grossièrement l'échantillon de galène quartzeuse, de le passer sur un triple tamis à trous d'environ 5, 2 1/2 et 1 1/2 millimètres, et de laisser tomber séparément dans l'appareil d'essai les quatre classes produites. En recevant successivement le riche et le pauvre de chaque classe et réunissant ensuite les produits de même nature, on aurait, entre la gangue et le minerai, un rapport aussi approché bien souvent que par les moyens ordinaires, bien plus rapidement et d'une manière bien plus à la portée des ateliers de préparation mécanique (1).

Pour la chaux carbonatée lamellaire, il semble que les trous des tamis demanderaient à être un peu plus rapprochés dans les gros calibres. La série 5, 3 1/2 et 1 1/2 serait peut être préférable à la précédente.

---

(1) On sait que, pour les minerais de plomb notamment, les essais par voie sèche sont d'autant plus inexacts que les matières essayées sont moins riches et que l'inexactitude est énorme pour les matières pauvres.

Pour la pyrite, la blende et la baryte sulfatée, la séparation ne pourrait être que partielle ; il se présenterait un produit intermédiaire dont la richesse aurait besoin d'être appréciée par quelque autre moyen, si ce produit intermédiaire était en quantité notable, et si la différence de couleur des minéraux qui la composeraient ne permettait pas d'en juger approximativement la composition. Ce produit intermédiaire aurait cela de particulier que les grains de galène associés avec les grains de pyrite ou de blende seraient notablement plus petits qu'eux : si la différence n'était pas assez grande pour permettre la séparation au moyen d'un simple tamisage, elle serait éminemment favorable à la séparation par une sorte de criblage à secousse. Un petit appareil en verre pourrait donc être construit dans le système des cribles à piston, qui permettrait de compléter rapidement l'essai mécanique dans ces cas difficiles.

Enfin, sans recourir à des dosages exacts, on peut souvent se contenter d'une appréciation à l'œil et, dans ce cas, un simple tube fermé par un bout peut suffire. En le remplissant d'eau et le dressant verticalement, un tube de 1 à 2 centimètres de diamètre, dans lequel on précipiterait séparément chacune des quatre classes désignées ci-dessus, montrerait les différentes matières plus nettement séparées que dans l'échantillon et plus facilement appréciables. Pour aider à la disposition des matières par ordre de densité, on pourrait, au besoin, ajouter quelques secousses de bas en haut à l'effet de la précipitation spontanée, et, si la partie inférieure du tube était graduée, la composition approchée de l'échantillon se lirait directement.

Considérations sur l'organisation d'un système de préparations mécaniques basé sur la précipitation.

Tous les faits contenus dans ce mémoire ont dû convaincre qu'il n'est pas impossible de tirer parti de la précipitation dans la préparation mécanique des minerais. Avant d'aller plus loin, il convient de considérer que l'organisation d'un système de lavage par précipitation comporte deux manière d'opérer très-différentes. Ou bien on peut faire, comme nous l'avons supposé, jusqu'à présent, c'est-à-dire commencer par classer les matières, par ordre de grosseur, au moyen de criblages successifs, avant de les soumettre à la précipitation : ou bien précipiter tout d'abord et pêle-mêle les matières simplement dépouillées, par triage à la main, des fragments supérieurs au calibre de 2 à 3 centimètres, pour ne les cribler qu'ensuite.

Dans le premier système, la précipitation imposerait aux substances de densités différentes des vitesses de chute inégales qu'il s'agirait d'utiliser pour obtenir la séparation.

Dans l'autre système, des temps de chute égaux correspondraient non plus à des substances de même densité, comme dans le premier cas, mais à des substances de densités différentes, ayant entre elles des rapports de volume tels que les moins denses seraient les plus volumineuses

Dans ce nouveau système, pour la galène par exemple, comparée au quartz, le tableau n° III permet d'établir qu'à temps de chute égaux on obtiendrait ensemble des fragments de galène 200 à 250 fois moins volumineux que les fragments de quartz. Pour la houille (qui, par sa structure, diffère moins de notre quartz que celui-ci de la galène) la différence serait moindre; néanmoins, les grains de houille qui auraient la

vitesse du quartz seraient encore communément de 150 à 100 fois aussi volumineux que les grains de ce minéral. La différence pourrait, il est vrai, se trouver réduite au rapport de 13 à 1 et même à celui de 8 à 1 pour certains fragments aplatis de la substance la plus dense comparée à certains fragments concentrés de la substance la plus légère. Mais ce ne serait d'abord que pour de très-faibles proportions des matières à traiter et l'on voit que, même dans ce cas, peu important, des différences de plus de 2 à 1 existeraient encore entre le diamètre moyen des grains à séparer.

Pour la houille comparé au schiste houiller plus ou moins charbonneux qui s'y rencontre si fréquemment, surtout en France, les différences de volume seraient un peu moins favorables à la séparation : elles ne reprendraient toute leur valeur que par rapport au grès qui constitue la majeure partie des impuretés de certains charbons (ceux de la Grand'Combe, par exemple) et plus encore par rapport à la pyrite.

Abstraction faite du moyen auquel on pourrait avoir recours pour pratiquer la précipitation comme procédé courant de préparation mécanique, on peut déduire de ce qui vient d'être dit qu'entre les deux systèmes possibles, l'un avec classement préalable par ordre de grosseur, l'autre par précipitation directe de la matière brute, avec classement subséquent, c'est le dernier système qui semble mériter la préférence. Il promet une exécution bien plus facile, parce que l'un et l'autre système exigent un criblage, mais que, dans le cas de la précipitation directe, la différence entre les calibres des grains à retenir et celui des grains

à laisser passer est considérablement plus grande. En effet, on a vu, au commencement de ce mémoire, que les variations de calibre propres à une même classe de grenailles ou de sables ne dépassent pas le rapport de 3 à 1. Les volumes correspondant diffèrent donc entre eux de 9 à 1 au plus. C'est-à-dire que la différence maxima pour le cas d'un criblage préalable, représente la différence minima pour le cas d'un criblage opéré à la suite du classement par précipitation. On voit de plus que le criblage préalable comparé au criblage subséquent donne, en faveur de ce dernier, des différences de volume de 10 à 25 fois plus grandes entre les grains à séparer.

Il s'ensuit qu'après précipitation de la matière brute, le criblage pourrait se faire au moyen de mailles bien plus larges par rapport aux grains à laisser passer; ce qui rendrait nécessairement ce criblage bien plus rapide, toutes choses égales d'ailleurs. Et ce n'est pas seulement une économie de temps qui résulterait de cette plus grande facilité du criblage; c'est surtout, comme je vais le montrer dans un instant, nne économie de matière utile, un moindre déchet.

Ainsi, pour la galène à séparer des gangues pierreuses légères, il semble manifeste qu'il conviendrait de disposer l'appareil à précipitation de manière à n'opérer le criblage qu'après classement par ordre de chute des matières brutes dans l'eau.

Pour la houille l'intérêt est un peu moindre, de sorte que, si quelque avantage particulier se rattachait à la disposition contraire, on pourrait l'adopter sans grand inconvénient.

Toutefois, en thèse générale, je suis porté à croire que les classements ordinaires, par criblages

successifs, sont destinés à tomber un jour en désuétude, au moins par rapport aux matières humides, pour être remplacés par le classement par voie de précipitation. Cette opinion repose sur deux faits: d'abord sur l'imperfection et la lenteur des classements ordinaires, quand on a à opérer sur des matières humides comme la plupart des minerais métalliques; ensuite sur cette circonstance bien digne d'attention que les imperfections principales des systèmes de lavage usités sembleraient devoir disparaître si, au lieu du classement par criblages successifs, on faisait usage du classement par voie de précipitation.

Examinons, en effet, d'abord ce qui se passe dans la caisse allemande, sur les tables dormantes et même sur les tables à secousses.

Défauts des appareils de lavage ordinaires.

A la caisse allemande ce sont précisément les plus gros grains métalliques qui sont entraînés le plus loin, avec la gangue pierreuse; ils se trouvent entraînés avec des grains beaucoup moins denses, de forme variée et de moindre calibre pour la plupart; tandis que les grains de galène moyens et petits s'accumulent au haut de la caisse et se dégagent à peu près complétement des parties stériles. Il paraît que, dans ce travail, les gros grains ne peuvent pas aussi aisément que les petits s'enraciner, pour ainsi dire, au milieu des sables qui forment la surface incessamment renouvelée de la masse à laver et que, présentant ainsi tout leur corps au courant, ils sont incapables de lui résister: ces gros grains sont donc entraînés au loin, précisément à cause de leur grosseur et malgré leur densité et la régularité de leur forme. Au contraire, parmi les grains moyens et petits, qui forment la majeure partie de la tête de la caisse après lavage, on trouve une proportion très-notable de paillettes

et de poussières métalliques qui, dans une eau dormante, resteraient en suspension trois ou quatre fois aussi longtemps que les grosses grenailles emportées par le courant. Ces parties fines semblent infiltrées dans la masse et retenues entre les grains par adhérence.

Sur les tables dormantes (et aussi sur les tables à secousses, mais à un degré moindre), même chose arrive pour les plus gros grains, qui partent les premiers, galène après quartz, mais l'un aussi bien que l'autre, tandis que les poudres terreuses et les minces lamelles métalliques tiennent bon, en faisant corps, de manière à ne pas donner prise au courant.

C'est pour remédier à ce défaut bien connu des caisses et tables à courant d'eau qu'au Harz on lave sur un appareil particulier certains sables fins, trop fins pour être criblés avec avantage, trop gros et trop uniformes pour ne pas rouler pêle-mêle sur les tables ordinaires. L'appareil est construit en vue de rompre incessamment le courant pour mettre obstacle à ce que son action a de nuisible à l'égard des parties métalliques grenues; il se compose d'un petit canal incliné de 8 à 9 centimètres par mètre, qui reçoit la matière et la verse sur une table de même pente. Le canal a 5 mètres environ de longueur sur $0^m,25$ de largeur et la table 7 à 8 mètres de longueur sur 1 mètre de largeur. Le fond du canal est formé de tablettes à peu près horizontales qui donnent lieu, de 0,50 en 0,50 environ, à de petits ressauts de 4 à 5 centimètres, et la table est couverte d'une toile grossière. La matière répandue au haut du canal descend peu à peu les gradins du canal, sous l'impulsion d'un leger courant d'eau, laissant en route les plus gros grains lourds : elle arrive à la table,

où un supplément d'eau la pousse en avant. Les creux de la toile retiennent à leur tour les grains métalliques plus petits ou plus minces qui ont échappé aux gradins, tandis que les grains pierreux, que leur légèreté spécifique ou l'irrégularité de leur structure ne laissent pas adhérer à la toile, continuent de rouler jusqu'au bas de la table.

Cette disposition est la moins mauvaise qu'on ait trouvée au Harz pour ces sortes de matières; mais on n'a garde de la juger parfaite. L'examen des sables échappés à la table prouve son insuffisance (1).

Les différents détails qui précèdent doivent faire comprendre combien les procédés ordinaires sont loin de suffire à tous les cas.

Si, au lieu de classer au moyen de cribles les grenailles et les sables qu'on lave aux différents appareils dont il vient d'être question, on les classait par voie de précipitation, non-seulement le classement pourrait être bien plus expéditif et moins coûteux, mais il ne serait plus exposé à donner lieu aux difficultés, et par suite aux pertes que je viens de signaler. En effet, ces gros grains métalliques, qu'il est si difficile de retenir sur les appareils à eau courante, sont précisément ceux que la précipitation permettrait de séparer le plus facilement; de sorte que les matières qui seraient livrées aux tables ou caisses diverses ne contiendraient plus, en minerai utile, que des grains ou des parcelles appropriées à ces procédés de lavage.

Et ce n'est pas seulement par rapport aux matières fines (généralement lavées dans des

(1) Depuis que ceci est écrit, M. Rivot a donné une description complète du *Planherd* ainsi que de toute la préparation mécanique du Harz. (*Voir* Annales des mines, 4e série, tome XIX.

appareils à courant d'eau) que la précipitation préalable pourrait être utile, pour débarrasser ces matières des grenailles métalliques si difficiles à retenir, qu'elles contiennent en quantité importante. Les matières de calibre supérieur, qui renferment communément la majeure partie des produits à retirer du lavage, n'en éprouveraient par de moins bons effets. Ces matières correspondent à nos grenailles et aux trois premières classes de nos sables; elles sont habituellement traitées par criblage, dans des appareils de construction très-variée, mais dont l'effet utile diffère peu au fond. Ce sont les différents cribles à secousses et les cribles à piston.

On dirait que le mérite respectif de ces différents appareils n'est pas encore bien établi. Ainsi, tandis que le crible à piston s'est répandu depuis vingt ans sur tout le continent, où il se substitue aux cribles à secousses, ceux-ci sont encore exclusivement employés en Angleterre. Peut-être y a-t-il de part et d'autre, dans ces usages, esprit d'imitation plutôt qu'étude sérieuse des effets produits. Quelques mots à ce sujet seront donc d'autant moins déplacés ici que, tout en nous conduisant à la démonstration que nous avons à faire, ils fourniront un exemple du parti qu'on peut tirer de nos expériences sur la chute des grenailles et des sables au milieu de l'eau. Ils permettront en outre plus tard de préciser les conditions d'un bon criblage et d'énoncer sur les différents appareils utiles une opinion motivée.

Deux systèmes de cribles.

Malgré la diversité de formes, de grandeurs et de dispositions des différents appareils de criblage, ils se réduisent à deux systèmes distincts : 1° le système ancien, qui est caractérisé par la mobilité du crible et fonctionne à simple effet; 2° le système

nouveau, qui est caractérisé par la fixité du crible et fonctionne à double effet.

J'ai observé le jeu de l'un et de l'autre système dans de petits appareils en verre, en opérant sur des matières dont les temps de chute au milieu de l'eau avaient été préalablement constatés.

Jeu des cribles à piston.

De ces observations il résulte que, dans le système à crible mobile, lorsque le crible s'abaisse la matière abandonnée par la grille qui la soutenait au milieu de l'eau, se trouve en suspension et se précipite avec des vitesses inégales pour les différents grains, conformément aux lois que nous avons établies dans nos tableaux III et IV (1). Quand le crible remonte les matières n'éprouvent pas de dérangement sensible. L'insuffisance de la hauteur de chute, qui ne dépasse guère 0m,04 à 0m,05, jointe à l'inégalité du point de départ, qui dépend de l'épaisseur de matière chargée à la fois, ces deux causes font qu'après une première secousse les matières de densités différentes restent encore confondues; les parcelles denses ou grosses se trouvent abaissées d'un degré au-dessous de leur niveau primitif, mais de nouvelles secousses sont nécessaires pour les amener toutes à occuper la partie inférieure du dépôt. Le nombre de secousses auquel on soumet communément une criblée varie de 1.000 à 1.500 et représente une chute totale variable de 20 à 60 mètres (2).

Cause de la multiplicité des secousses.

Assurément c'est beaucoup plus qu'il ne serait nécessaire dans un système de précipitation libre. La raison de ce fait me paraît être que, dans les conditions habituelles du criblage à secousses, un

(1) P. 394 et 395 de ce volume.

(2) 5 à 8 minutes de travail, à raison de 150 à 220 secousses par minute.

élément nouveau intervient, dont nous avons pu faire abstraction jusqu'à présent ; c'est d'une part la situation de chaque grain par rapport à ceux qui l'entourent, de l'autre sa position absolue au moment de la mise en suspension dans l'eau. Lorsque la précipitation a lieu sur une certaine hauteur, cette position initiale est sans influence notable, parce qu'au bout d'un instant tous les grains se trouvent indépendants et chacun d'eux a naturelllement pris une position d'équilibre stable qu'il conserve pendant le reste de sa chute ; mais durant l'instant des $0^m,03$ ou $0^m,04$ de chute que le mouvement du crible permet, c'est à peine si cette indépendance des grains et cette position d'équilibre stable sont atteintes, lorsque le mouvement se trouve arrêté par la rencontre du fond du crible. Il en résulte que, sous l'influence d'une même secousse, un même grain descend plus ou moins vite suivant qu'il se trouve plus ou moins dégagé du contact de ses voisins et aussi, sans doute, suivant qu'il présente à l'eau son gros bout, son petit bout ou son flanc. Il faut donc le remettre en suspension jusqu'à ce que sa position initiale soit devenue favorable au jeu simultané des pesanteurs spécifiques et des volumes (1). On comprend d'ailleurs qu'une fois cette position favorable acquise par un grain il doit la conserver, puisque l'action de son volume et de sa densité ne sont plus contrariées.

Jeu des cribles à piston.

Dans le système à crible fixe, lorsque d'abord, sous l'action du piston qui descend, l'eau monte

(1) Dans l'ancien criblage à main, cette première partie du travail s'effectuait dans de meilleures conditions au moyen d'un mouvement giratoire qui précédait les oscillations verticales.

à travers la grille, elle soulève inégalement les matières contenues, et chaque grain se trouve porté à une hauteur proportionnelle au temps qu'il mettrait à tomber librement dans une même profondeur d'eau. Lorsque ensuite le piston se relève, les grains en suspension retombent, chacun de sa hauteur et avec la vitesse que donnent à la fois la densité, le volume et la forme. Ce double effet du criblage à piston en rend l'action d'autant plus prompte, par rapport au criblage à secousses, qu'on a coutume de donner aux oscillations de l'eau une amplitude beaucoup plus grande qu'il n'est d'usage pour la course du crible. Aussi le nombre d'oscillations auquel une criblée se trouve soumise dans le nouveau système de travail est-il beaucoup moindre que pour le crible à secousses. Il varie de 250 à 500 pour les minerais métalliques, et se réduit à 125 au moins et même à 25 pour la houille. Mais, tout compte fait, le temps pendant lequel les matières sont en suspension dans l'eau est à peu près le même de part et d'autre, parce que l'amplitude de la course est beaucoup plus grande pour les cribles à piston, et qu'en outre la mise en suspension des matières a lieu pendant les deux périodes de cette course.

Les effets nuisibles de la position initiale qui ont été signalés plus haut, à propos des cribles à secousses, se reconnaissaient plus nettement encore dans nos essais sur le criblage à piston. On voyait parfois une même course et une même vitesse de piston soulever de grosses grenailles de houille aussi haut que des grains de la même substance soixante fois plus petits, et qui avaient besoin d'un temps double pour tomber de la même hauteur. Plus ordinairement c'était le petit grain qui était porté le plus haut, comme de raison; la plus

grande élévation du petit grain par rapport au gros avait lieu quand, à l'origine du mouvement, le premier ne se trouvait pas engagé sous le gros, et qu'en même temps celui-ci, qui était inégal, tournait vers le bas son côté le plus massif. En général, avec une aire de piston égale à celle du crible et pour une course de 0m,04 à 0m,06, la houille, la chaux carbonatée lamellaire et la galène se trouvaient soulevées aux hauteurs suivantes : 0m,04 à 0m,06, 0,025 à 0,015, 0,015 à 0,010. Les temps de chute correspodants à ces matières dans une hauteur d'eau de 1m,20 étaient respectivement de 9″ à 6″, 3″ à 2″, 2″ à 1″ 1/2.

On voit qu'en somme, pour les deux systèmes de criblage, c'est la durée de la chute dans une profondeur d'eau suffisante qui donne la mesure des séparations possibles. On voit en outre que le criblage, tant à simple effet qu'à double effet, oppose à la précipitation des matières par ordre de densités et de calibres des obstacles très-grands, et que pour les vaincre il faut, de part et d'autre, la même répétition des mises en suspension, par suite les mêmes chocs et les mêmes frottements. L'action de ces chocs, faible en apparence, devient très-sensible par sa répétition. Les angles des fragments s'arrondissent par suite de la pulvérisation des parties les moins résistantes, et l'on arrive à ne plus trouver parfois au fond du crible que de véritables petits cailloux roulés, dont les parties broyées ont passé soit au fond de la cuve, soit parmi les nulles valeurs. J'ai eu deux occasions de constater l'effet de ces frottements, sur de la galène à Poullaouen et sur du schiste houiller à Bruxelles : c'était à la suite de criblages sur grille fixe, en Bretagne comme en Belgique. Il en était nécessairement résulté du fin dont la production

Effet nuisible de la répétition des secousses.

doit toujours être évitée autant que possible dans les préparations mécaniques, car, pour les minerais métalliques, c'est une cause de déchet, et pour la houille, une cause d'impureté.

Il ne faut pas croire que les cas que je cite soient tout à fait accidentels et qu'ils tiennent à des négligences faciles à éviter. Dans l'appareil de Bruxelles le travail était entièrement réglé par la machine, et, pour ce qui concerne le minerai de plomb, le soin de l'ouvrier ne saurait empêcher que les frottements dont il s'agit soient répétés de 250 à 1500 fois par criblée, suivant l'amplitude de l'oscillation; qu'en outre, avant d'être soustraite au mouvement de l'eau, la partie lourde de la matière subisse communément dix criblées, sans utilité pour sa purification, mais uniquement pour en faciliter la récolte avec la raclette, et qu'enfin une partie du minerai, précisément la plus riche, soit laissée sur la grille, souvent pendant toute une journée, pour préserver la toile métallique de l'atteinte de la raclette. On comprendra donc que, puisque le travail normal des cribles à secousses ou à piston soumet les grains métalliques à des chocs et à des frottements répétés plusieurs milliers de fois, il n'est pas étonnant qu'il en résulte inévitablement des effets analogues à ceux que j'ai rapportés. Ils sont plus ou moins nuisibles, suivant que la matière utile est plus ou moins friable.

Ce défaut des différents appareils de criblage usités semblerait devoir être considérablement amoindri, si l'on opérait sur des matières préalablement classées par précipitation, d'abord parce que la meilleure partie du minerai pur se trouverait naturellement séparée par la précipitation même et n'aurait pas besoin de subir le criblage, ensuite parce qu'en raison des différences de cali-

bres qui existeraient entre les grains de densités différentes, les plus lourds passeraient, pour la plupart, à travers la grille aussitôt qu'ils y arriveraient, et se trouveraient soustraits de cette manière à la cause de déchet que j'ai signalée.

Ainsi, soit qu'on la considère comme pouvant, dans certains cas, remplacer quelques-uns des anciens procédés de lavage, soit qu'on n'y voie qu'un auxiliaire utile de ces procédés, la précipitation libre, sans classement préalable, mérite incontestablement de fixer l'attention des personnes qui s'occupent de préparations mécaniques.

Reste à trouver un appareil capable de faire accepter ce nouveau procédé de séparation.

Le moment n'est pas venu de décrire l'appareil auquel mes recherches m'ont conduit et dont un premier modèle a fonctionné. Le jeu de cet appareil est essentiellement fondé sur l'emploi d'une eau courante : avant de le décrire nous aurons donc à étudier l'influence du mouvement de l'eau sur les résultats de la précipitation. Cependant, comme il importe de montrer, sans plus attendre, que le nouveau système n'a rien d'impraticable, je ne terminerai pas ce chapitre sans donner une idée succincte d'un premier projet qui laisserait sans doute beaucoup à désirer pour le traitement de masses considérables de matières de peu de valeur; mais qui, pour des quantités moyennes de minerais métalliques, pourrait suffire à la rigueur.

Premier projet d'un appareil de classement et de lavage par voie de précipitation.

Qu'on se représente une fosse de 3 mètres environ de profondeur, longue de $1^m,50$, par exemple, et large d'une soixantaine de centimètres. Cette fosse, capable d'être remplie d'eau et vidée à volonté, serait divisée en trois prismes verticaux, au moyen de deux cloisons parallèles en bois ou

même en toile grossière, lesquelles cloisons s'arrêteraient à une soixantaine de centimètres au-dessus du fond. C'est le prisme du milieu, plus large que les deux autres, qui servirait de colonne à précipitation. Les minerais bruts, dépouillés seulement des parties séparables à la main, y seraient abandonnés au milieu de l'eau. On les projetterait d'une manière intermittente au moyen d'une caisse à fond mobile qu'on ouvrirait brusquement pour la refermer aussitôt et recharger la caisse pendant que la précipitation aurait lieu. Cette précipitation amènerait au bas de la colonne, pendant les trois ou quatre premières secondes, de la galène pure; puis, pendant les trois ou quatre secondes suivantes, un mélange de gangue pierreuse et de galène, assez différentes par le volume des grains pour qu'en recevant le tout sur une toile métallique au milieu même de l'eau, la galène passât à travers la toile et se trouvât séparée des parties stériles. Il en serait de même, mais avec moins de netteté, pour la période suivante et ainsi de suite.

Tout autour du prisme central, dans la double gaîne formée par les prismes latéraux, circulerait une noria légère composée de larges godets en toile métallique, qui viendraient successivement passer sous la colonne à précipitation et recevoir les matières précipitées : les grains arrivant sur la toile métallique complétement indépendants les uns des autres s'y sépareraient naturellement en deux classes de grosseur bien plus nette que dans les criblages ordinaires : le riche qui passerait à travers, le pauvre qui resterait sur la toile. Les godets seraient fixés à des traverses reliant deux chaînes sans fin qui seraient soutenues au-dessus de la caisse distributrice par un tambour de diamè-

tre convenable et guidées à la partie inférieure. Il y aurait autant de séries de godets formés de toiles métalliques différentes qu'on voudrait produire de classes. Une lacune dans les godets laisserait arriver librement au fond de la fosse les plus gros grains de galène, ceux qui tomberaient pendant les trois ou quatre premières secondes. Cette lacune servirait de repère pour régler la position des godets de manière à faire toujours trouver sous la colonne, au moment opportun, les toiles métalliques de calibre approprié au calibre des grains qui devraient tomber à un moment donné. Un pendule servirait à régler le mouvement de la chaîne sans fin, conformément à des données acquises par une expérience spéciale, analogue à celle qui a donné lieu à nos tableaux n°s III et IV. Enfin la partie riche qui traverserait les toiles métalliques s'accumulerait au fond de la fosse, d'où on la retirerait à la fin de la journée, tandis que la partie pauvre serait remontée au fur et à mesure par les godets et rangée par classes, pour achever l'opération en soumettant au lavage ordinaire cette matière déjà dépouillée du minerai le plus pur qu'elle contenait, et de plus parfaitement préparée pour assurer l'efficacité de ces lavages.

Chaque projection de matière donnerait lieu à un temps de chute égal à 30 secondes environ, mettons-en 60 pour laisser le temps de charger la caisse. On pourrait facilement projeter à la fois de 10 à 15 litres de matière, soit plus d'un 1/2 mètre cube par heure, et peut-être 1 mètre cube. Abstraction faite du mouvement de la noria, qui, pouvant n'être jamais que très-peu chargée, n'exigerait pas une grande force, deux femmes pourraient suffire au service de l'appareil et classer ainsi 5 à 6 mètres cubes de minerai brut par

jour, tout en en retirant, du premier coup, la partie la plus riche.

Je suppose d'ailleurs le minerai brut déposé à pied d'œuvre.

Si le minerai était de nature à permettre une séparation à peu près complète par ce moyen (ce qui semblerait pouvoir se faire pour les résidus calcaire des minerais de la Sierra de Gador, par exemple, une fois qu'ils seraient dépouillés de leurs parties pulvérulentes) un appareil du genre de celui que je viens d'indiquer pourrait peut-être rendre quelques services, malgré ses défauts.

Le plus grand défaut de cet appareil est d'exiger beaucoup d'attention de la part des ouvriers chargés de le conduire. Ce défaut est énorme. A différents degrés, il est commun à la plupart des appareils ordinaires de préparations mécaniques.

Une préparation mécanique véritablement digne de ce nom serait celle qui opérerait sans l'intervention de l'homme, ou du moins sans que la pureté des produits et l'activité du travail fussent assujetties à l'attention et à la bonne volonté de l'ouvrier. On y arrivera.

Principes à observer dans l'établissement d'un système de préparation mécaniques.

Sans attendre que le moment soit venu de faire connaître la méthode et les soins au moyen desquels ce résultat a, selon moi, quelque chance d'être obtenu, je vais indiquer la voie qui me semble capable d'y conduire.

Reportons nos regards sur l'ensemble des faits qui ont été établis dans les deux premières parties de ce mémoire. Il en résulte qu'une fois divisés par cylindrage ou bocardage, de manière que la cohésion qui existe entre les parties utiles et les gangues soit détruite, les minerais se trouvent sous deux états dont la distinction ne me semble

pas avoir été toujours faite assez nettement jusqu'ici : 1° les grenailles de gros sables, que les tamisages ordinaires peuvent grossièrement classer par ordre de grosseur conformément aux lois que j'ai indiquées, et qui contiennent la majeure partie des grains métalliques sous forme concentrée; 2° les sables fins et les poussières, que leur finesse rend rebelles aux moyens de classement ordinaires et qui contiennent généralement les parties métalliques sous formes aplaties, allongées ou pulvérulentes. C'est, je crois, faute d'avoir compris cette distinction fondamentale qu'on a trop souvent invoqué la loi des densités et des volumes comme base à peu près unique de la théorie des préparations mécaniques. Or j'ai montré que cette loi se trouve complétement en défaut pour une partie essentielle des lavages ordinaires, pour ceux qui se pratiquent dans des appareils à eau courante, tels que la caisse allemande, la table dormante, et même la table à secousses pour une partie de son effet complexe.

La loi des densités et des volumes est sujette à deux grandes exceptions dans les préparations mécaniques : 1° elle ne s'applique pas à ces parcelles minces chez lesquelles l'influence de la forme est capable de neutraliser l'influence de la densité; 2° elle n'est pas moins en défaut lorsqu'il existe une différence excessive entre les calibres des grains à séparer. Ce dernier cas intervient dans les préparations mécaniques d'une manière d'autant plus prononcée que les matières sont plus divisées, et on peut expliquer ainsi les difficultés insurmontables qui empêchent de laver les matières fines sans déchets énormes, même quand elles ne sont pas lamelleuses.

Toutes les fois que, pour une cause ou pour

une autre, la densité se trouve neutralisée, ce n'est plus cette propriété qu'on cherche à mettre en jeu, c'est la différence d'adhérence et de disposition au roulement sur la surface soit de l'appareil, soit des matières qu'elle contient.

Voilà donc deux sortes d'actions complétement différentes, d'où résulte la nécessité de diviser les minerais broyés en deux classes appropriées chacune au mode de traitement qui leur convient le mieux : 1° les matières à grains métalliques de forme plus ou moins concentrée et de calibres pas trop différents qui sont capables de se prêter au jeu des pesanteurs spécifiques; 2° les matières à parcelles métalliques minces ou de calibres très-différents qui exigent l'intervention d'un autre moyen de séparation.

Il me semble que c'est à réaliser cette division essentielle qu'il faut viser avant tout, dans tout système de préparation bien entendu.

Or on m'accordera qu'à ce sujet les Allemands et les Anglais, avec leurs canaux de débourbage sans profondeur d'eau et sans autre moyen que quelques coups de pelle pour remettre en suspension la matière déposée, n'ont pas fait assez pour qu'il n'y ait plus rien à tenter après eux.

Une fois ce premier classement opéré, notre précipitation aidée d'un criblage subséquent s'appliquerait naturellement aux grains métalliques concentrés, la table Brunton perfectionnée aux parcelles fines et minces : tout pourrait se faire mécaniquement, et la préparation des minerais semblerait pouvoir être ainsi débarrassée de bon nombre des complications qui effrayent dans l'étude de cette industrie.

NOTICE

Sur le traitement métallurgique des schistes cuivreux du Mansfeld (*).

Par M. LAN, ingénieur des mines.

Le traitement métallurgique des schistes cuivreux du Mansfeld a déjà été le sujet de deux mémoires insérés dans les Annales des mines, l'un par M. Manès en 1824 (tome IX), et l'autre par M. Lechâtelier en 1840 (tome XVII). A l'époque où M. Manès visitait le pays de Mansfeld, on commençait les essais d'amalgamation des mattes cuivreuses argentifères. En 1839, M. Lechâtelier trouvait une usine d'amalgamation complétement installée : la nouvelle méthode avait remplacé avec avantage l'ancien procédé de liquation du cuivre. Enfin depuis 1842 ou 1843 de nouvelles idées ont été mises à l'essai et ont donné lieu à deux nouveaux procédés d'extraction de l'argent contenu dans les mattes cuivreuses. Introduction.

Le but de cette notice est de faire connaître les principales circonstances de ces nouveaux procédés et les modifications que leur découverte a introduites dans l'ensemble du traitement des minerais; nous avons donc dû présenter un résumé complet du travail pour cuivre et pour argent.

(*) Extrait d'un mémoire d'élève déposé à l'École des mines, après le voyage d'instruction de 1850.

Nous avions même à signaler quelques essais nouveaux tentés pendant ces dernières années pour améliorer la méthode de traitement dans les opérations dites : *fonte crue des minerais*, *affinage et raffinage du cuivre noir*.

Coup d'œil historique sur le pays de Mansfeld. Importance de ses mines et usines.

Le pays de Mansfeld comprend plusieurs districts de mines et usines qui, avant les guerres de l'empire, étaient partagés entre la Prusse et la Saxe. Les districts de *Sangerhausen*, d'*Eisleben*, de *Mansfeld* formaient le *Mansfeld Saxon*, et les districts de *Rothenbourg* et de *Friedbourg*, le *Mansfeld Prussien*. Par suite des conquêtes de l'Empire, le Mansfeld Prussien devint une province du nouveau royaume de Westphalie fondé en 1807. Deux ans plus tard, la Saxe cédait au roi de Westphalie les districts de Mansfeld et d'Eisleben. Toutes les mines, à l'exception de celle de Sangerhausen, appartenaient dès lors au même Etat qui se trouvait ainsi maître du commerce du cuivre dans le nord de l'Allemagne. Mais la Prusse, qui avait toujours convoité ces mines de cuivre d'autant plus importantes pour elle qu'elle n'en possédait point d'autres, devait en définitive, profiter seule des avantages de la réunion des districts sous la même administration ; en effet, les traités qui suivirent la chute de l'empire lui donnèrent tout le pays de Mansfeld. Ce pays se trouve aujourd'hui enclavé dans la province Prussienne, dite *Province de la Saxe*, et les villes de Sangerhausen, Eisleben, etc., etc., autour desquelles sont groupées les mines et les usines sont toutes chefs-lieux des cercles du gouvernement de *Merseboug*.

Les divers districts métallifères appartiennent

par suite de concessions fort anciennes à des sociétés d'actionnaires. Peu à peu l'intervention des officiers des mines de l'Etat amena la réunion des sociétés d'Eisleben, de Mansfeld, Friedbourg, etc., pour l'exécution en commun de tous les grands travaux d'exploitation : c'est grâce à cette réunion que l'exploitation a pu se développer comme elle l'est aujourd'hui; c'est grâce encore à cette réunion que les mines de Sangerhausen, d'une exploitation difficile et peu productive, n'ont pas été abandonnées. Elles furent achetées en commun par les compagnies des autres districts qui ainsi réunies pouvaient momentanément supporter des sacrifices trop lourds pour les anciens actionnaires isolés. Notre but ne nous permet pas de nous étendre ici sur l'administration de ces mines et usines; d'ailleurs, malgré les nombreux changements politiques qu'a subis cette contrée, l'administration est toujours restée à peu près la même qu'à l'époque où M. Héron de Villefosse écrivait *la Richesse minérale.*

Toutes les usines à cuivre appartiennent aux mêmes sociétés. On pourra juger de l'importance des mines et usines par le tableau suivant des usines et des quantités de minerais qu'elles ont dû traiter en 1850 :

1° *District de Sangerhausen.* — Une seule usine, placée près de la ville du même nom; elle a dû traiter en 1850, 2.325 tonnes (1) de minerais schisteux calcaires ou quartzeux, provenant des mines du district.

---

(1) Toutes les mesures prussiennes ont été traduites en mesures françaises.

2° *District du Mansfeld proprement dit.* — Sept usines, savoir : Creuzhütte, Silberhütte, Katharinenhütte près de la ville de Mansfeld; Oberehütte, Mittelhütte près d'Eisleben; Kupferkammerhütte près d'Hœttstœdt; enfin Friedburgerhütte près de Friedbourg.

Ces usines réunies ont dû traiter, en 1850, 30.386 tonnes de schiste cuivreux.

Tous les produits des usines précédentes sont envoyés à une usine d'extraction de l'argent dite Gottesbelohnungshütte, près d'Hœttstœdt. Dans cette usine on pousse jusqu'au cuivre noir, et ce produit est envoyé à une dernière usine d'affinage dite Saigerhütte (c'était dans cette usine qu'autrefois on liquatait tous les cuivres noirs du Mansfeld).

Indications générales sur la nature des minerais.

La plus grande partie des minerais traités dans ces usines consiste en schistes marno-bitumineux dans la pâte desquels sont disséminés des petits cristaux, des petites lames ou veinules de cuivre pyriteux, de cuivre sulfuré ou de cuivre panaché. Ces minerais renferment en outre des proportions variables de blende, de pyrite de fer, de combinaisons d'arsenic, nickel, cobalt, vanadium et plomb. Le caractère général de ces minerais c'est d'être pauvres en cuivre, mais riches en argent; il est probable que sans cette teneur en argent on ne les traiterait pas pour cuivre seul.

Outre les minerais précédents, on traite à Sangerhausen deux ou trois autres espèces de minerais tirées du mur et du toit de la couche des schistes bitumineux. Ceux du mur sont des grès quartzeux à ciment argilo-calcaire : ils contiennent des grains de cuivre sulfuré et leur teneur

est ordinairement supérieure à celle des schistes; mais ce sont des minerais très-réfractaires.

Les espèces tirées du toit des schistes sont des calcaires plus ou moins imprégnés ou veinulés de cuivre sulfuré : leur teneur est assez faible, mais ils conviennent bien aux lits de fusion, parce que leur chaux sature l'excès de silice des précédents.

Ensemble du traitement pour cuivre et pour argent.

En définitive, dans tous ces minerais, l'élément utile, le cuivre, se trouve toujours à l'état de sulfure simple ou multiple. La formule de traitement pour cuivre serait donc celle des minerais pyriteux ordinaires, c'est-à-dire : 1° fonte crue pour matte cuivreuse; 2° grillage de la matte; 3° fonte de la matte grillée pour cuivre noir; 4° affinage du cuivre noir.

Les modifications apportées à cette formule dérivent de la nature des minerais.

Les schistes du Mansfeld sont ordinairement très-bitumineux et ils renferment toujours une certaine proportion d'eau et d'acide carbonique. Pour se débarrasser de ces éléments nuisibles dans la fusion, on divisera la fonte crue (1°) en deux opérations : la première sera une calcination qui enlèvera l'acide carbonique, l'eau et le bitume; la seconde sera la fonte crue proprement dite.

L'argent et le cuivre des minerais passeront en totalité dans la matte produite. Avant de continuer le traitement pour cuivre, on fera ici l'extraction de l'argent contenu dans cette matte, par l'un des nouveaux procédés. Dans les deux cas l'extraction se termine par une fonte pour cuivre noir correspondant à la fonte (3°). On verra même un peu plus loin que l'extraction de l'argent n'est pas beaucoup plus compliquée que le grillage (2°)

qu'on devrait faire subir à la matte, dans le cas où elle ne tiendrait pas d'argent, de sorte que la formule du traitement n'est pas sensiblement modifiée par la présence de l'argent dans les minerais. C'est là un des avantages des nouveaux procédés sur les anciens.

Quant au cuivre noir, il va à l'affinage (4°).

Tel est le traitement ordinaire du Mansfeld; seulement il arrive quelquefois que la teneur des minerais n'est pas assez forte pour qu'il y ait avantage à extraire immédiatement l'argent de la matte obtenue en fonte crue. Le minerai contient, par exemple, des sulfures étrangers, de la blende, de la pyrite de fer, en proportions telles que la matte de fonte crue n'aura pas plus de 20 à 25 p. 100 de cuivre. Alors on exécute un grillage qui qui élimine une partie du soufre et amène le fer à l'état d'oxyde. La matte ainsi grillée subit une *fonte de concentration* où, sous l'influence de scories très-siliceuses, on scorifie le fer, le zinc, tandis que le cuivre reste à l'état de sulfure ou sous-sulfure dans une nouvelle matte, naturellement plus riche que la première : nous reviendrons plus loin sur les difficultés de cette fonte de concentration que nous ne faisons qu'indiquer ici comme modification du traitement ordinaire.

Jusqu'ici nous n'avons parlé que du traitement des schistes; si nous examinons le traitement des schistes mélangés avec les grès et les calcaires cuivreux de Sangerhausen, nous trouverons encore des particularités sinon dans l'ensemble, au moins dans les détails. Pour n'omettre aucune des circonstances du traitement du Mansfeld, nous parlerons successivement :

1° Du traitement des minerais réfractaires (à Sangerhausen);

2° Du traitement des minerais ordinaires (à Eisleben);

3° Du traitement des minerais impurs (à Kupferkaunnerhütte).

PREMIÈRE PARTIE.

Traitement des minerais pour matte cuivreuse argentifère.

§ I. *Minerais réfractaires.*

L'usine de Sangerhausen était construite pour effectuer le traitement complet des schistes et autres minerais cuivreux jusqu'au cuivre marchand. Les minerais de ce district étaient trop pauvres en argent pour qu'on pût en extraire ce métal avec avantage par les anciens procédés de liquation et d'amalgamation. Au contraire, avec les nouveaux procédés d'extraction on peut traiter pour argent les minerais les plus pauvres et depuis leur introduction, l'usine de Sangerhausen ne fait plus, comme les autres usines, que les opérations de la fonte crue. Usine de Sangerhausen.

Les minerais peuvent être rapportés à quatre classes : Quatre classes de minerais.

1° Les schistes cuivreux, dont la teneur moyenne est 3 p. 100;

2° Les minerais quartzeux (Sanderze), teneur variable entre 5 et 12 p. 100;

3° Les schistes calcaires (Noberge), teneur de 2 p. 100;

4° Les calcaires imprégnés de pyrites ou de cuivre sulfuré (Dach), dont le teneur ne dépasse pas souvent 1 à 2 p. 100.

Préparation mécanique des minerais quartzeux pauvres.

Parmi ces minerais, les schistes cuivreux (1°) sont les seuls qui tiennent à l'argent. Nous ferons apprécier cette teneur un peu plus loin.

Les minerais arrivent à l'usine en gros morceaux, mais déjà triés. Ceux de la première classe arrivent directement de la mine aux aires de grillage. Ceux de la troisième et de la quatrième classe arrivent sur des aires où des enfants les cassent en morceaux de la grosseur du poing, après quoi ils font un triage grossier.

La deuxième classe est subdivisée en minerais riches et en minerais pauvres. Les premiers sont cassés en morceaux de la grosseur du poing au plus et sont dès lors prêts à la fusion.

Les seconds vont à un petit atelier de préparation mécanique annexé à l'usine. Cet atelier reçoit ces minerais quartzeux avec une teneur de 2, 3 ou 4 p. 100; par un bocardage à l'eau et par un lavage sur des tables à secousse, on arrive à des schlichs et à des schlamms dont la teneur moyenne est comprise entre 4 et 5 p. 100; tel est, au moins, le but de ces opérations. Mais après examen fait des produits du lavage et des boues qu'on envoie au ruisseau, nous croyons qu'on s'exagère beaucoup l'avantage retiré de cette préparation. Si d'ailleurs on tient compte de la nature de la matière soumise à ce travail, on comprendra tout de suite la difficulté d'enrichir les matières bocardées, surtout sur des tables à secousse.

La matière se compose d'un grès à ciment ar-

gilo-calcaire dans lequel sont finement disséminés des grains de pyrites cuivreuses : or, par le bocardage, on doit réduire en poussière très-fine; les broyées abandonnent très-difficilement la pyrite, matière excessivement légère; le ciment argilo-calcaire du grès réduit en poussière fait pâte avec l'eau; ces boues empâtant les grains pyriteux rendent d'abord plus difficile le dépôt au labyrinthe, et quand on les porte sur les tables à secousse, elles rendent la séparation des grains cuivreux excessivement pénible. Enfin, et c'est une preuve de la difficulté de cette préparation mécanique, les schlamms qui se déposent dans les dernières fosses sont assez riches pour être livrés à l'atelier de fusion : on préfère les passer ainsi et ne pas leur faire subir un travail inutile aux tables à secousse. Difficultés de l'enrichissement par bocardage et lavage.

Ce que nous disons de la difficulté de concentration de ces *sanderze* doit s'appliquer *à fortiori* aux schistes bitumineux eux-mêmes, qu'on avait songé autrefois à bocarder pour essayer une concentration. Le broyage devait nécessairement être très-fin; mais les broyées visqueuses qui en seraient résultées auraient pu passer longtemps sur la table à secousse avant de laisser déposer complétement les petits grains pyriteux empâtés dans la masse.

Le fondant est du fluorure de calcium très-pur; il provient de filons situés à sept heures de Sangerhausen. Il coûte rendu 1f,41 les 100 kil. Fondant.

Les combustibles sont : Combustibles.

Le bois pour le grillage, à 1f,50 les 100 kil. rendus;

Le charbon de bois dur à 4f,16 les 100 kil. rendus.

Le coke revient trop cher pour être d'un emploi avantageux ; l'usine se trouve la plus éloignée de toutes les grandes voies de communication et des centres d'approvisionnement en combustibles minéraux ; autrement le travail de Sangerhausen se trouvait bien d'un mélange de coke et de charbon de bois dans le rapport de 1 à 3.

1re opération. Grillage des minerais schisteux.

Les minerais de la première classe doivent subir un grillage ou une calcination avant de passer à la fusion. Cette opération, nous l'avons déjà annoncé, a pour but de débarrasser les schistes du bitume, de l'eau et de l'acide carbonique qu'ils renferment, mais nullement d'oxyder ou de désulfurer les pyrites ou sulfures contenus dans les minerais.

Les tas de grillage sont construits sur des aires placées au niveau des gueulards. La forme adoptée pour ces tas de grillage est celle d'un tronc de pyramide à base carrée ou rectangle ; la hauteur est ordinairement de 2 mètres à 2^{m},20 ; les dimensions de la base sont très-variables : à Sangerhausen, les tas contiennent environ 150.000 kil. de schistes. On les accumule au-dessus d'un lit de bois refendu et de branchages. On réserve les parties schisteuses menues pour les disposer à la partie supérieure. La principale influence dont il faille tenir compte dans la préparation des tas, c'est celle du vent. Pour activer la calcination, on doit ménager des ouvertures au bas des tas et du côté où souffle ordinairement le vent. On met le feu au lit de branchages inférieur ; le bitume brûle à mesure qu'il se dégage et il entretient lui-même la température nécessaire au grillage. Par un temps favorable, un tas comme celui indiqué plus haut est grillé en huit ou dix semaines.

On ne peut empêcher l'oxydation d'un peu de fer et de cuivre pendant cette opération; aussi la perte en poids (que l'on trouve être de 1/8) et celle en volume (de 1/9 à 1/10) ne représentent pas les pertes véritables en eau, acide carbonique et bitume.

Caractères des schistes bien grillés.

Lorsque le grillage a bien réussi, les schistes doivent être poreux, se fendiller facilement, et offrir une couleur tirant sur le brun jaunâtre ou rougeâtre. La présence de taches noirâtres est un indice d'un grillage incomplet.

Les schistes après le grillage semblent être, d'après des analyses déjà anciennes, un composé de sulfures de fer et de cuivre mélangés d'un peu d'oxydes de ces métaux et de quelques autres métaux, comme le zinc, le nickel, le cobalt, etc.; la gangue est un mélange d'argile (silicate d'alumine de chaux et de magnésie) et de chaux caustique provenant de la calcination du calcaire qui accompagne les schistes bruts.

Les frais de grillage s'établissent ainsi qu'il suit, par quintal de schistes bruts:

Frais de grillage.

Main-d'œuvre : Construction du tas,	$0^{f},014$	$0^{f},017$
Surveillance pendant le grillage,	$0^{f},003$	
Combustible : $0^{q},004$ à $1^{f},50$ le quintal. . . .		$0^{f},005$
Total. . . .		$0^{f},022$

On emploie, dans toutes les usines du Mansfeld, des hauts-fourneaux plus ou moins semblables aux hauts-fourneaux à fer. Tous ceux construits depuis dix à douze ans le sont sur le modèle de ces derniers. On trouve encore dans quelques usines les anciens fours dont le profil est loin d'être aussi régulier. Les fours de Sangerhausen se peuvent rapporter

Fourneaux employés.

à cet ancien type représenté par les *fig.* 3, 4 et 5; seulement les dimensions sont un peu plus grandes à Sangerhausen que ne l'indiquent ces figures. On verra sur ces figures que les deux parois latérales de ces fours sont symétriques par rapport à l'axe du four, qu'elles sont régulièrement inclinées l'une sur l'autre depuis le gueulard jusqu'au creuset, mais que la poitrine, verticale jusqu'au niveau du ventre, s'infléchit ensuite vers l'intérieur du four comme le fait la varme depuis le fond du creuset jusqu'au gueulard. Il y a là une différence avec les fours de Sangerhausen; dans ceux-ci, la poitrine et la varme sont verticales jusqu'au niveau du ventre; à partir de là la varme s'incline vers le dehors du four et la poitrine vers le dedans, de manière à rester presque parallèles. On remarquera encore un renflement aux environs de la tuyère; cet élargissement existe dans tous les fours de l'ancien type.

Si l'on tient compte de la nature des minerais à fondre, on verra que ces grands fours à cuve conviennent très-bien au travail du Mansfeld en général et au travail de Sangerhausen en particulier. Les minerais sont pauvres. La fonte crue est destinée à nettoyer le minerai de la forte proportion de gangue qu'il contient; on doit chercher à opérer le plus rapidement possible et à une haute température. Les minerais contiennent peu de fer, on n'a donc pas à craindre dans ces hauts-fourneaux d'engorgements, de loups ferreux; en tous cas, s'il s'en produit, ce sera toujours en faible quantité. Il est probable que c'est pour éviter la formation de fonte qu'on a élargi l'ouvrage au niveau des tuyères.

Mais si en principe les grands fours à cuve con-

viennent à ce travail, ces fours de l'ancien type ne sont pas les plus convenables; il est évident, en effet, qu'avec un profil aussi irrégulier le travail ne doit pas être aussi uniforme que dans un haut-fourneau analogue aux haut-fourneaux à fer. Nous aurons d'ailleurs un peu plus loin l'occasion de comparer les résultats obtenus avec ces différents fours.

Construction de ces fours.

La section horizontale des fours de Sangerhausen est trapézoïdale jusqu'au niveau des étalages; de là jusqu'au gueulard elle est circulaire. La partie du massif intérieur comprise depuis la sole jusqu'aux étalages est en grès réfractaires du pays; depuis les étalages jusqu'au gueulard, le massif est en briques faites avec des argiles réfractaires des environs. Les grès de la partie inférieure sont très-siliceux; mais cela n'offre aucun inconvénient pour la durée du fourneau; car la scorie a toujours un excès de silice, et elle ne saurait ronger les parois. Il en est de même du fond du fourneau, qui est fermé par une pierre de grès, inclinée en avant de 11 à 12 centimètres pour toute la longueur. Cette sole vaut mieux ici qu'une brasque; elle ne se détériore pas trop vite, par la raison que nous venons de donner, et les réparations deviennent beaucoup plus faciles qu'avec de la brasque. L'inclinaison de la pierre de fond donne l'avantage d'un écoulement rapide des produits hors du four; ce qui fait encore que le creuset n'a pas besoin d'être aussi profond, et que les crasses sont moins considérables dans les angles du creuset. La pierre sole repose ordinairement sur un lit de scories préparé pour le passage de l'humidité qui gagne le jour par des conduits traversant le massif extérieur.

Ce massif extérieur est fait avec des grès communs provenant des formations du grès rouge et du grès bigarré qui s'étendent tout autour de l'usine. Les campagnes sont de 3, 4 ou 5 ans.

Trois embrasures sont ménagées dans le massif du fourneau; destinées à recevoir trois tuyères, elles ne servent jamais toutes les trois; on travaille ordinairement avec une tuyère placée sur la face de varme.

Sur le devant et au bas du four sont deux lunettes, espaces vides laissés entre la pierre fermant le creuset sur le devant et les parois latérales; on ouvre successivement ces lunettes pour faire écouler les produits dans les deux avant-bassins. Nous aurons l'occasion de revenir sur la construction de ces avant-bassins.

Quantité d'air lancée dans les fourneaux; travail à l'air chaud.

Près des fours sont immédiatement placés: une soufflerie à piston et un appareil à air chaud. Le volume d'air lancé dans les fours est de 6 à 7 mètres cubes par minute, à la pression de 1 à 2 centimètres de mercure et à la température de 230 à 250° Réaumur.

La tuyère est horizontale; la buse en fonte a 4 à 5 centimètres de diamètre.

Les premiers essais de travail à l'air chaud ont été faits avec les minerais réfractaires de Saugerhausen; on a trouvé une économie de combustible de 33 p. 100. Le travail marche plus rapidement; il y a donc aussi économie de temps. La seule différence certaine dans la nature des produits, c'est que la matte est devenue plus riche en cuivre.

Composition du lit de fusion.

Le lit de fusion n'a pas une composition bien constante; mais voici celui qu'on passait pendant notre séjour à Saugerhausen:

kil.
33,33 de minerais quartzeux (schlichs, schlamms, fragments, etc.).
8,33 de minerais calcaires.
58,33 de minerais schisteux.

99,99

A cela on ajoute comme fondants :

38,33 de fluorure de calcium.
31,33 de scories de la fonte pour cuivre noir.

51,66

Travail.

On prépare les lits de fusion au niveau des gueulards; chaque lit de fusion contient 4.670 kilog. du mélange précédent. Les charges de charbon sont également préparées au niveau du gueulard. Elles ne sont modifiées par le chargeur que sur les ordres du chef fondeur qui se trouve toujours en bas du four. On laisse devant la tuyère un nez de 10 à 12 centimètres; ce nez n'est pas ici bien indispensable, mais il préserve la tuyère contre l'ardeur du feu, et celle-ci dure beaucoup plus longtemps que si l'on travaillait à tuyère claire. On charge le combustible et le minerai par couches alternatives (ce qu'on ne pourrait faire si les minerais contenaient plus de fer); on charge ainsi toutes les heures ou tous les trois quarts d'heure. La vivacité de la flamme qui sort par la lunette ouverte sert au chef fondeur pour reconnaître si le vent a assez de force. Les caractères de cette flamme et l'aspect du nez suffisent au fondeur pour juger la marche du travail. Une flamme d'un blanc rougeâtre, avec un nez un peu brillant et long de 10 à 12 centimètres, voilà les indices d'une bonne allure. Un nez trop long, une flamme très-rouge sont les indices d'un dérangement de la zone de combustion qui se trouve alors trop près de la poitrine.

Les produits coulent constamment hors du four et se rendent à l'un des avant-bassins, qui s'emplit ainsi de matte cuivreuse pendant douze heures; pendant ce temps, la matte qui est dans l'autre s'est refroidie, on l'a enlevée en une seule masse, et on a refait la brasque du bassin de manière à pouvoir y faire une coulée nouvelle de douze heures, etc., ainsi de suite. Dans ces bassins, les scories surnagent au-dessus de la matte; on les enlève à mesure qu'elles se solidifient; et, excepté celles qui surnagent immédiatement au-dessus du bain et qui peuvent retenir de la matte empâtée, elles sont immédiatement jetées aux haldes ou moulées en briques qu'on vend au profit des ouvriers.

Personnel. Le personnel attaché à un pareil four, par douze heures, se compose de cinq hommes : un chef fondeur, un chargeur, deux aides, un charrieur des scories.

Par vingt-quatre heures, il faut deux postes pareils.

Produits. Les produits du travail peuvent se diviser en deux classes :

1° Les produits principaux, c'est-à-dire *mattes et scories;*

2° Les produits secondaires : *crasses et dépôts; gaz combustibles du gueulard.*

L'examen de ces produits nous permettra une appréciation plus sûre du travail au point de vue chimique. Nous aurons besoin de placer ici les analyses de ces produits (1).

---

(1) La plus grande partie des analyses que nous donnons ici ont été faites par M. Heine, directeur des usines de Leimbach, près Mansfeld. Quelques autres ont été

La matte produite a toujours un aspect cristallin ; elle est bleue rougeâtre ; sa masse est très-homogène ; on n'aperçoit jamais de cuivre réduit dans l'intérieur. Voici d'ailleurs l'analyse d'un échantillon de Sangerhausen : 1° Matte.

Soufre.	26,44
Cuivre.	52,44
Fer.	20,49
Plomb.	0,41
Argent.	0,13
	99,91

On obtient, en général, des mattes qui ont en cuivre une teneur moyenne de 52 p. 100. Un lit de fusion de 4.670 kilog. produit en moyenne, en huit heures, 308^k,220 de cette matte, qui en argent tient 0,12 p. 100.

Les scories sont toujours très-vitreuses et le plus souvent d'un noir brillant ; il se produit accidentellement des scories d'aspect terreux et verdâtres. La composition ordinaire des scories est représentée par les analyses suivantes : 2° Scories.

	n° 1	n° 2
Silice.	53,83	57,43
Alumine.	4,43	7,83
Chaux.	33,10	23,40
Magnésie.	1,67	0,87
Protoxyde de fer.	4,37	7,47
Oxydule de cuivre.	0,25	0,30
Fluor.	2,09	1,97
	99,74	99,27

N° 1, scorie verte et vitreuse provenant d'un

faites par M. Rammelsberg, professeur à l'université de Berlin : elles se trouvent toutes dans l'ouvrage intitulé : Lehrbuch der Chemischen Metallurgie, par M. Rammelsberg. — Berlin, 1850.

lit de fusion où l'on avait chargé une forte proportion de fluorure de calcium.

N° 2, scorie grise ayant un peu l'aspect de pierre ponce.

Le rapport entre l'oxygène des bases et celui de la silice montre que la composition de ces scories correspond à un mélange de bi et trisilicates.

On voit encore que l'on perd très-peu de cuivre par les scories; celles qui en contiennent le plus (à l'état d'oxyde) n'en ont jamais plus de 0,50 à 0,80 p. 100. Au contraire, les pertes en cuivre sont plus grandes par les globules de matte qui restent mécaniquement mélangés avec les scories.

Produits secondaires.

1° *Masses ferrugineuses* dites *eisensauen*. — Mélanges de fonte, d'oxydes de fer, d'autres oxydes métalliques avec des alliages de nickel, cobalt, etc. Ces masses, plus lourdes que la matte, se réunissent au fond des avant-bassins; comme elles sont d'ailleurs moins fusibles que les autres produits, elles restent souvent en croûtes dans les angles du creuset, et elles obligent même quelquefois à mettre hors.

Les premières analyses qui aient été faites de ces produits sont dues à M. Berthier (1), qui avait trouvé 89,10 fer; 7,8 cobalt; 2,0 cuivre; 1,8 soufre.

Les analyses nombreuses faites depuis par M. Heine ont donné des résultats différents; l'aspect de ces masses est d'ailleurs très-varié; la couleur est ordinairement d'un gris de fonte; elles ont une texture grenue comme des speiss, et eu égard

(1) Annales des mines, 1re série, t. IX.

à la grosseur du grain, elles se divisent en deux classes : 1° celles à texture fine d'une densité de 7,883; 2° celles d'une texture plus grossière, de densité égale à 7,578.

Voici trois analyses d'échantillons de ces deux classes :

Charbon. . . .	1,415	1,309	0,871
Soufre.	0,085	0,461	0,596
Phosphore. . .	6,044	4.583	3,514
Molybdène. . .	9,133	27,327	28,485
Fer.	72,256	57,680	57.909
Nickel.	4,631	5,500	3,418
Cobalt	0,772		0,670
Cuivre.	1,788	2,448	2,446
	97,124	99,348	97,909

On retire par 12 heures 50 kilog. environ de ces masses ferreuses.

2° *Crasses retirées des fours après la campagne.* — La nature des crasses est très-complexe; on peut dire qu'elles renferment tous les minéraux du minerai régénérés; ainsi les sulfures de zinc et de plomb surtout vont se condenser dans toutes les fissures du massif intérieur à l'état de blende et de galène; ils sont toujours accompagnés de sulfures de fer et de cuivre également reproduits, mais jamais en quantité notable; la perte en cuivre par les crasses est très-minime.

3° Un produit secondaire tout à fait particulier à Sangerhausen, c'est le *feldspath.* — Il apparaît souvent au milieu des crasses précédentes; mais il paraît se trouver plus souvent sur la poitrine ou sur la varme. Il est souvent cristallisé et coloré en violet ou en noir.

En voici deux analyses :

Silice.	64,533	65,953
Alumine.	19,200	18,501
Fer oxydé. . . .	1,200	0,685
Chaux.	1,333	4,282
Cuivre oxydulé.	0,266	0,128
Potasse et soude.	»	10,466

Ces analyses n'indiquent pas de manganèse; mais les échantillons violets en contiennent de 1/4 à 1/2 0/0.

Examen du travail au point de vue des réactions chimiques.

La variété des produits pourrait faire supposer que les réactions qui se passent dans la fonte crue de Sangerhausen sont nombreuses et compliquées; en y regardant d'un peu plus près, on verra que ce travail est très-simple, surtout si l'on se borne au point important, c'est-à-dire la séparation du cuivre des autres éléments des minerais.

La fonte crue n'a pour but et pour résultat que de débarrasser la matière utile des gangues, de faire passer celles-ci à l'état de scories, tandis que le cuivre passe dans la matte où se fondent les autres sulfures métalliques ou au moins la plus grande partie. Le lit de fusion, par le fait seul de la diversité des gangues, les unes calcaires, les autres argileuses et quartzeuses, se trouverait déjà dans de bonnes conditions de fusibilité, sans l'addition d'aucun fondant étranger; mais les lits de fusion doivent être composés de façon à avoir une certaine teneur moyenne en cuivre; la pauvreté des autres minerais oblige alors à passer une forte proportion de mine quartzeuse; il devient ainsi nécessaire de saturer, par un fondant étranger, l'excès de silice introduit, excès qui ne peut que nuire à la fusibilité des charges. On choisit comme fondant le fluorure de calcium, et cela pour deux raisons :

1° Il forme avec le silicium un composé volatil qui enlève une première partie de silice ;

2° La chaux du fluorure de calcium agit comme base et sature une autre partie de silice.

Un autre élément de fusibilité des scories, c'est l'oxyde de fer ; mais le grillage des schistes en produit fort peu ; il n'y a d'ailleurs aussi que fort peu d'oxyde de cuivre dans les schistes grillés, et par conséquent aucune de ces réactions fondées sur les affinités respectives du cuivre pour le soufre et du fer pour l'oxygène. La plus grande partie du fer reste à l'état de sulfure dans la matte ; la partie qui avait été oxydée pendant le grillage est réduite et donne lieu aux masses ferreuses dites *eisensauen*. Il ne passe guère de fer dans les scories que celui qui entrait dans la composition même de l'argile des schistes.

La production des crasses n'est pas un fait extraordinaire ni particulier à ce travail. Le feldspath est dû à la présence des cendres laissées par le charbon de bois.

Nous n'avons rien dit du dernier produit secondaire du travail, les *gaz combustibles du gueulard*, nous y reviendrons un peu plus loin.

Par 100 kilog. de minerais répartis comme il a été dit dans le lit de fusion, voici comment s'établissent les frais spéciaux de fusion : Aperçu des frais spéciaux de la fusion.

		fr.
Main-d'œuvre	Construction des lits de fusion. . . Travail au four lui-même. . . . . . Transport des produits au magasin.	0, 13
Fondant. . . .	0^f,35 à 1^f,41 les 100 kil.	0,40
Combustible.	0^f,35 à 4^f,16 les 100 kil.	1,50
Y compris le combustible nécessaire pour le chauffage de l'air.		
	Total.	2,03

§ II. *Minerais ordinaires.*

Usines de Mittelhütte et Oberehütte, près d'Eisleben.

Les usines de Mittelhütte et d'Oberehütte ne traitent que des schistes bitumineux d'une teneur qui permet d'envoyer directement à l'extraction la matte produite par la fonte crue. C'est là la méthode ordinaire du Mansfeld; on la retrouve appliquée aux usines des environs de Mansfeld et de Leimbach, c'est-à-dire à Katharinenhütte, Creuzhütte, etc., etc.

Teneur des minerais.

Les schistes ont une teneur moyenne de 4 p. 100. Nous ne comptons pas comme minerais les petites quantités de *sanderze* et de *dach* ajoutées aux lits de fusion dans quelques cas seulement.

Fondant.

Le fondant est toujours le fluorure de calcium provenant des mêmes filons qu'à Sangerhausen.

Combustibles.

Les combustibles employés sont : pour le grillage, les bois refendus et les branchages; pour la fusion, le coke et le charbon de bois alternativement. Ce dernier n'est guère employé ici que parce que l'on veut utiliser ainsi la partie des bois que l'administration des compagnies ne peut pas vendre autrement dans ses forêts.

Diverses espèces de coke.

On emploie diverses espèces de cokes; nous n'avons pu nous procurer aucun essai sur la nature de ces cokes; mais les résultats obtenus avec chacun d'eux dans le traitement en grand nous permettront d'en faire un classement sommaire. Nous verrons, en prenant les consommations qu'on a dû faire dans un même fourneau, pour passer la même quantité de matière, que le coke anglais, en aiguilles brillantes et solides, est toujours, quoique plus cher, d'un emploi plus économique que les cokes de Berlin et de Saxe, qui, poreux, légers, se réduisent facilement en menu, suppor-

tent très-mal la charge dans les fourneaux et donnent lieu à des voûtes, à des arrêts dans la descente des charges. Le coke de Silésie paraît intermédiaire entre le coke anglais et celui de Berlin ; de sorte que, comme il coûte moins cher que le premier, il est plus avantageux. Voici les nombres qui confirment les observations précédentes :

100 kil. de schistes exigent aux fours de fonte crue 13 kil. de coke anglais, à 5f,96 les 100 kil., soit 0f,77, et 16 kil. de coke de Berlin à 5f,79 les 100 kil., soit 0f,92. L'économie obtenue avec le premier serait donc de 0f,15 par 100 kil. de minerai passé.

Avec le coke silésien, on compte sur une consommation de 13k,14, et le prix est à peu près le même que celui de Berlin.

Quant à l'emploi du coke pour la fonte crue, de préférence au charbon de bois, c'est une question qui paraît bien décidée au Mansfeld, et si les sociétés n'avaient pas de grandes forêts qui leur donnent toujours du charbon à bas prix, il est probable qu'on emploierait le coke seul dans toutes les usines. La rapidité du travail est en effet plus grande qu'avec le charbon de bois.

Grillage ou calcination des schistes.

Nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons dit là-dessus à propos de Sangerhausen. Les frais sont à peu près les mêmes : on les estime à 0f,023 par 100 kil. de schistes à griller.

Fonte crue. Fourneaux employés.

Les fours employés peuvent se rapporter à deux formes, l'ancienne et la nouvelle. L'ancienne, c'est celle dont nous avons parlé à propos de Sangerhausen, ou à peu de chose près. Les fourneaux d'Oberehütte appartiennent encore à cet ancien

type. Leur usage devenant de plus en plus restreint, nous n'insistons pas, et nous donnerons, au contraire, quelques détails sur les nouveaux fours qu'on trouve à Mittelhütte, Creuzhütte, Silberhütte, etc. Les *fig.* 1 et 2 (*Pl. XVIII*) se rapportent à un fourneau des usines de Mansfeld; ceux de Mittelhütte n'en diffèrent que quelques variations des dimensions et notamment de la hauteur. Le profil est toujours formé par deux troncs de cône apposés par leurs grandes bases. Toute la partie située au-dessus de l'ouvrage est à section horizontale circulaire; l'ouvrage et le creuset sont à section trapézoïdale. Le premier effet de ce profil est une grande régularité dans le travail, et comme conséquence, une plus grande rapidité dans le passage des charges au four. L'augmentation des dimensions s'est faite surtout dans le sens horizontal; les figures montrent qu'en effet les diamètres au gueulard, au ventre, aux étalages, sont plus considérables que dans les anciens fours; il en résulte que, pendant le même temps et avec le même personnel, on passe une plus grande quantité du lit de fusion; il y a moins de chaleur perdue, et, par conséquent, on trouve à la fois économie de combustible et de main-d'œuvre. La hauteur des fours est ce qui influe directement sur la quantité de chaleur sensible emportée par les gaz à leur sortie du four; avec une hauteur comprise entre les limites indiquées dans les figures, on marche à gueulard obscur, et la température des gaz à leur sortie ne dépasse guère 200° à 300° centigrades.

Quant à la construction de ces fours, l'augmentation de dimensions exige un massif plus considérable; on doit, dès lors, se prémunir contre

l'ébranlement de la maçonnerie. La construction offre quelque chose d'analogue avec celle des hauts fourneaux à fer. Entre le massif intérieur réfractaire et le massif extérieur en briques ordinaires ou en grès du pays, il y a un espace rempli de sable ou de mêmes fragments de briques; il y a là un passage facile pour la vapeur d'eau qui s'y rend et en sort par des canaux pratiqués dans le massif extérieur.

La partie du massif intérieur, comprise entre le fond et les étalages, est encore en grès siliceux, et la partie supérieure en briques réfractaires. Le fond est formé par la pierre de grès A, et le four est fermé sur le devant par la pierre A'; toutes dispositions qui, comme celle des avant-bassins, sont les mêmes qu'à Sangerhausen. Nous ajouterons seulement un mot relatif à ces bassins de réception. Ces deux cavités sont percées dans le sol même de l'usine auprès de la poitrine; le sol se compose d'une poussière argilo-sableuse mélangée de poussière charbonneuse, de sorte que sa nature tient de celle des brasques ordinaires; mais dans certains cas, cette brasque ne paraît pas assez solide. Ainsi, quand, comme à Mittelhütte et à Oberehütte, mais surtout à Kupfer Kammerhütte, les minerais tiennent une forte proportion de zinc, il y a toujours infiltration de la matte à travers les parois des avant-bassins; de sorte qu'on ne peut retirer la matte qu'en soulevant avec elle une grande partie de la brasque. Il faut alors, avant de porter la matte aux opérations subséquentes, lui faire subir un cassage et un triage qui sépare la matte et la brasque; de là enfin des frais extraordinaires qu'on parviendrait, peut-être, à

Construction des avant-bassins.

éviter au moyen d'un bassin mieux approprié aux nécessités du travail.

Fâcheuse influence du zinc sur la durée des campagnes.

La fâcheuse influence du zinc se fait, d'ailleurs, également sentir sur la durée des campagnes ; la masse de crasses qui obstruent le fourneau augmente plus rapidement. Au reste, c'est là un fait général pour les minerais plombeux ou cuivreux, où le zinc abonde ; jamais nous n'avons vu au Hartz, à Freiberg, de longues campagnes dans de pareilles circonstances.

Travail à l'air chaud et à l'air froid.

A Oberehütte, on marche à l'air froid ; les machines soufflantes sont encore de vieux soufflets en bois rendant fort peu d'effet utile. Le défaut d'emplacement empêche seul l'établissement des nouvelles machines et d'un appareil à chauffer l'air.

Établissement d'une cagniardelle à Mittelhütte.

A Mittelhütte, en même temps qu'on introduisait les nouveaux fourneaux, on a installé un appareil à chauffer l'air et une nouvelle machine soufflante : c'est la *cagniardelle* ou *vis soufflante*. Nous avons pu nous en procurer tous les dessins : nous allons ajouter quelques explications.

On distinguera sur les *fig.* 1, 2, 3, 4 (*Pl. XIX*), une roue hydraulique R, sur l'axe de laquelle est une autre roue d'engrenage conique EE qui met en mouvement une autre roue fixée sur l'axe aa'. Cet axe est un cylindre creux en fonte qui fait le noyau d'une vis formée elle-même par les tôles hélicoïdales H, H', H'', *h*, *h'*, *h''*, *fig.* 2. Cette vis est enfermée dans un cylindre formé de pièces de tôle assemblées comme dans les chaudières à vapeur, les têtes des rivets étant bien noyées à l'intérieur, pour éviter les aspérités. On remarquera que le réservoir qui contient l'eau, dans laquelle fonctionne la vis, est en briques, à joints

étanches, et que cette maçonnerie *mm* est maintenue par une autre en pierres qui se rattache aux murs M du bâtiment; enfin, on distinguera encore les tuyaux et conduits RR', *rr'*, destinés au dégagement de l'eau hors du bassin, dès qu'il en est besoin.

Voici comment fonctionne cet appareil comme machine soufflante :

C'est, en définitive, une simple vis d'Archimède; mais au lieu de plonger seulement l'extrémité inférieure de la vis dans l'eau, on l'y plonge jusqu'à moitié de son orifice supérieur, et voici ce qui se passe pendant la rotation du cylindre UU'. L'élément supérieur de la vis se trouve constamment dans l'eau pendant la première demi-rotation, et pendant la deuxième, constamment dans l'air. Pendant la première période, l'eau s'introduira sur la surface hélicoïdale de la vis et marchera de manière à venir toujours occuper la partie inférieure du compartiment formé par deux filets de vis consécutifs; pendant la deuxième, l'air occupera l'espace laissé libre par le mouvement de l'eau qui avance toujours sur la surface hélicoïdale. A la 1/2 révolution suivante (la 3e), l'eau s'introduira de nouveau et pressera la colonne d'air, ainsi emprisonnée et forcée de suivre les colonnes d'eau jusqu'à l'extrémité inférieure du cylindre. L'air se comprime de plus en plus sous les colonnes d'eau qui séparent les espaces occupés par l'air. La coupe verticale, *fig.* 2, montre qu'après la dernière spire, l'air gagne la partie supérieure du cylindre, où il trouve le tuyau TT'T''... qui le mène au régulateur, puis au porte-vent ou bien encore à l'appareil à chauffer l'air. La *fig.* 3 montre la disposition des tuyaux portant l'air de la

machine aux fours (F), dans le cas du travail à l'air froid.

La pression que l'air peut acquérir ne saurait être ni égale ni supérieure à la pression de l'eau située au-dessus du coude T''', sans quoi l'air sortirait par l'ouverture circulaire qui sert à l'introduction du tuyau TT'T''... à travers la tôle emboutée du cylindre UU'. La hauteur d'eau, au-dessous du coude T''', est de 44 à 48 centimètres, c'est-à-dire que la pression de l'air ne saurait dépasser 3 à 4 centimètres de mercure.

Avantages et inconvénients de cette machine.

Les avantages qu'on attendait d'une pareille machine étaient :

1° D'être à mouvement continu de rotation; 2° d'éviter ainsi les soupapes; 3° d'être exempte ou à peu près de frottements, et par suite d'exiger peu de réparations; 4° de consommer peu de force motrice.

Les avantages 1°, 2°, 3° sont réels; mais pour ce qui est de la consommation de la force motrice, voici pourquoi elle est considérable, ou en d'autres termes, pourquoi l'effet utile de cet appareil est peu élevé. L'air étant plus léger que l'eau, tend toujours à remonter le long de la vis, au lieu de descendre : de là des pertes qui diminuent notablement l'effet utile.

Ces pertes seront d'autant plus grandes qu'on voudra donner une plus forte pression à l'air. D'un autre côté, il est bien vrai que le cylindre, déplaçant un volume d'eau assez considérable, perd de son poids et n'exerce que peu de frottements sur les tourillons; mais ce mouvement de l'air et de l'eau, le long des hélices, développe des frottements qui doivent augmenter la dépense en force motrice. Enfin, un dernier inconvénient,

c'est que, comme dans toutes les souffleries hydrauliques, l'air est toujours humide à sa sortie de l'appareil. En résumé, l'air fourni par cet appareil n'aura jamais une bien grande pression; il sera toujours humide, et l'effet utile n'est jamais considérable. Toutes ces raisons ont été appréciées à *Freiberg*, où l'on avait installé une cagniardelle, il y a quelques années. On l'a remplacée par une soufflerie à piston qui alimente presque le double de fourneaux avec la même dépense de force motrice.

Les inconvénients précédents ne sont d'ailleurs pas les seuls; il se présente des difficultés pratiques dans l'installation de la cagniardelle. Elles viennent de la facile destruction du cylindre extérieur, surtout dans la partie alternativement exposée à l'air et à l'eau. On l'avait d'abord, à Freiberg, fait en tôle comme au Mansfeld; le fer s'oxydait très-rapidement. On le fit ensuite en cuivre; quoique l'oxydation fût moins rapide, on n'eut pas lieu d'en être satisfait; enfin, on en était revenu à l'idée de le faire en bois, mais alors il devenait très-difficile de faire des jointures exactes entre les hélices et l'enveloppe.

Tout cela bien considéré, nous ne pensons pas que la cagniardelle soit jamais une machine soufflante applicable dans les usines où il est besoin d'un courant d'air actif et à haute pression. Ce n'est pas précisément le cas à Mittelhütte, mais nous doutons, d'après ce qui est arrivé à Freiberg, qu'on garde longtemps cette machine au Mansfeld.

Quand nous sommes passés à Mittelhütte, le travail marchait à l'air froid dans deux fourneaux de forme ancienne; la quantité de vent nécessaire

à chacun de ces fours est de 6 à 7 mètres cubes par minute, à la pression de $0^m,015$ de mercure. La machine soufflante devait donc fournir 12 à 14 mètres cubes d'air; pour cela, le cylindre faisait deux tours et demi par minute, et la roue hydraulique recevait environ $0^{mc},55$ par minute.

Nombre de tuyères.

Les anciens fourneaux n'ont qu'une tuyère avec une buse de $0^m,044$ de diamètre; les nouveaux ont trois embrasures, dans chacune desquelles on peut disposer une tuyère : ordinairement on marche avec deux tuyères; elles sont placées sur les deux parois latérales du creuset; elles sont horizontales et leurs axes parallèles sont écartés de $0^m,02$ à $0^m.04$. Dans les nouveaux fours, la pression est plus élevée que dans les anciens. A l'air froid, elle est de $0^m,02$, et à l'air chaud, de $0^m,023$ à $0^m,025$ de mercure. La quantité d'air est aussi plus forte dans les nouveaux fours; elle varie, suivant les dimensions des fours, de 8 à 12 mètres cubes.

Composition du lit de fusion. Exemple d'Oberehütte.

La composition du lit de fusion reste la même dans tous les cas; ainsi, à l'air froid, à l'air chaud, dans les anciens ou dans les nouveaux fours, cette composition est toujours comme à Oberehütte :

	kil.	
Schistes grillés	86,66	(correspondant à 100
Fluorure de calcium.	6,66	kil. de schistes bruts.)
Crasses et scories du travail.	6,68	
	100,00	

Quelquefois, au lieu des scories ou des crasses, on ajoute une certaine proportion de *sanderze* ou de *dach*. Les lits de fusion contiennent d'ailleurs plus de 100 kil. de ce mélange.

Pour passer un pareil lit de fusion de 3.198 kil., on compte à l'air froid et dans les anciens fours

treize à quatorze heures, et seulement cinq à six heures dans les nouveaux et à l'air chaud.

Le personnel attaché aux fours de fusion est le même qu'à Sangerhausen; le travail se conduit de la même manière. On ménage toujours un nez de 11 à 13 centimètres devant chaque tuyère. Le but est toujours de protéger contre l'ardeur du feu, et les tuyères et les parois qui les supportent.

Produits du travail.

Les produits sont encore de deux sortes : *la matte et les scories* d'une part, *des produits secondaires* de l'autre.

On peut désigner la matte sous le nom de *matte bronzée* à cause de son aspect; elle est riche en cuivre, et on aperçoit même au milieu de sa masse cristalline des petits *globules* de cuivre qui s'est trouvé réduit dans le fourneau : c'est l'indice d'un défaut de soufre dans le lit de fusion. Nous reviendrons là-dessus un peu plus loin; nous montrerons les inconvénients de la réduction du cuivre dans ce travail.

Voici l'analyse d'une matte obtenue dans un semblable travail à Oberehütte :

Matte cuivreuse.

Soufre.	24,58
Cuivre.	48,25
Fer.	17,35
Zinc.	2,90
Nickel et cobalt.	0,80
Argent.	0,30
Plomb.	1,05
Silice.	1,55
Alumine, phosphore. . . / Chaux, etc., pertes. . . .	2,2
	98,00

On estime qu'en moyenne un lit de fusion de

3.198 kil. produit 215 kil. de matte d'une teneur moyenne de 40 à 45 p. 100 de cuivre et de 0,250 d'argent.

Scories. Les scories sont ordinairement vitreuses et noires, mais souvent colorées en bleu par du cobalt ou peut-être par de l'oxyde de cuivre. Les scories rouges sont fort rares; elles caractérisent une mauvaise allure; car, en pareil cas, elles tiennent une forte proportion de cuivre oxydulé. En bonne allure, elles ne tiennent pas plus de 1 p. 100 de cuivre.

Produits secondaires. Parmi les produits secondaires, les mêmes, d'ailleurs, qu'à Sangerhausen, nous parlerons plus particulièrement des masses ferreuses (eisensauers). La production de ces masses semble être ici plus pernicieuse qu'ailleurs, à cause de la présence du zinc; elles se fissurent plus facilement, et la matte les pénètre de telle sorte qu'il faut leur faire subir un cassage, à la suite duquel on trie les morceaux de matte mélangée. Pour rendre ce cassage plus facile, on grille souvent les masses ferreuses dans des petites stalles de $0^{me},50$ environ.

A Sangerhausen, on retirait autrefois la matte mélangée avec ces masses en les portant, dans un petit foyer d'affinage du cuivre noir, à une température assez haute pour fondre la matte cuivreuse, mais insuffisante pour fondre la masse ferreuse.

Frais de fabrication par 100 kil. de schistes. Pour donner un aperçu des frais de fabrication, nous distinguerons le cas du travail au coke et le cas du travail au charbon de bois.

Dans les deux cas, on peut estimer la dépense en main-d'œuvre, à peu près, au même chiffre; ainsi, pour la construction des lits de fusion, la main-

d'œuvre au fourneau même, les transports des produits à leurs destinations, tout compris,

	fr.
La dépense est de $0^{j},12$, soit. . . . . par 100 kil. de schistes bruts fondus.	0,18
La dépense en charbon de bois est de $0^{q},20$, soit	1,09
La dépense en coke est de $0^{q},16$, soit	0,98
Si à cela on ajoute, d'une part les frais de grillage des schistes, soit par 100 kil. de schistes bruts à griller.	0,023
Et la dépense en fondant fluoré, soit par 100 kil.	0,094
On arrive à un total de frais spéciaux, de	
1° (Travail au charbon de bois).	1,387
2° (Travail au coke).	1,277

En comparant ce prix avec celui de Sangerhausen, on trouvera une grande différence; elle est due uniquement à la nature des minerais. Nous verrons le prix de fabrication baisser encore plus à Kupfer-Kammerhütte, où l'on travaille au coke, à l'air chaud, et dans les hauts fourneaux à deux tuyères.

§ III. *Minerais impurs.*

Usine de Kupfer-Kammerhütte.

Cette usine, située à vingt minutes d'Hœttstœdt, est la seule où se fasse actuellement le travail de concentration. La raison en est dans la nature des schistes cuivreux qu'on y traite; ils sont assez riches en bleude et contiennent moins de cuivre que ceux de Sangerhausen ou d'Eisleben.

Grillage. Fonte crue.

Passant l'opération du grillage des schistes, effectuée dans les mêmes conditions que précédemment, nous arrivons de suite à la fonte crue.

Ce que nous avons à en dire sera surtout relatif aux fourneaux qu'elle emploie. Ils se rapportent à la nouvelle forme dont nous avons parlé précédemment. L'emploi de deux tuyères placées sur la même paroi, celle de derrière; une plus faible hauteur (4^m,125 seulement); une plus grande inclinaison des étalages; voilà ce qui les distingue. La grande inclinaison des étalages ne paraît apporter aucune perturbation dans la descente des charges; elle est d'ailleurs une conséquence de la position des deux tuyères sur la même paroi; il est clair que, pour éviter cette grande inclinaison, il eût fallu, avec cette position des tuyères, élargir l'ouvrage et le ventre outre mesure, en conservant la même grandeur au creuset. D'un autre côté, la pose des deux tuyères sur la varme paraît plus avantageuse que leur séparation sur les deux parois latérales; car la construction du massif du fourneau est plus simple; on n'a qu'une embrasure à construire : le développement des tuyaux pour l'insufflation de l'air est moins considérable, et leur établissement est plus facile qu'avec deux tuyères sur les parois latérales; enfin, le courant d'air dirigé de la varme à la poitrine doit aider puissamment à la sortie de la flamme par les lunettes, et c'est d'autant plus important à Kupfer Kammerhütte, qu'une forte proportion de zinc peut ainsi partir par les lunettes.

A part ces différences, on verra, par les *fig.* 6, 7, 8, 9, 10 (*Pl. XVIII*), que ces fourneaux ressemblent, par le profil, aux hauts fourneaux dont il a été question précédemment; nous avons parlé d'économies de temps et de combustible obtenues avec ces nouveaux fours; en voici les preuves :

A Oberehütte, on consomme par quintal de schiste $0^q,17$ de coke. *Économies de temps et de combustible, obtenues avec ces fourneaux.*

A Kupfer Kammerhütte, on consomme $0^q,12$ environ.

Un lit de fusion de 3.198 kil. demande, dans le premier cas, treize à quatorze heures pour fondre; dans le second, on passe trois lits de fusion pareils par vingt-quatre heures.

Ces résultats sont comparables; car, quoique la richesse des schistes soit différente, la nature des gangues est un élément à peu près invariable; ce qui fait que les frais de fusion rapportés au quintal de minerais bruts devraient être les mêmes.

Les figures montrent différentes coupes de ces fourneaux; les matériaux de la chemise intérieure sont toujours des grès siliceux et des briques réfractaires. Celles-ci coûtent, rendues à l'usine, $123^f,75$ le mille. Elles viennent des environs de Halle, à 50 ou 60 kilomètres de Kupfer Kammerhütte. *Construction des fours.*

La durée des campagnes de ces fourneaux ne dépasse jamais trois mois. Cette courte durée tient à la grande quantité de zinc contenue dans les schistes.

La fonte crue se fait à l'air chaud avec le coke, et à l'air froid avec le charbon de bois. *Travail à l'air chaud et à l'air froid.*

Composition du lit de fusion. *Lit de fusion.*

	kil.
Schistes grillés (correspondant à 100 kil. de schistes bruts)	86,66
Fondant fluoré	4,60
Scories du travail même ou de la fonte pour cuivre noir	8,74
	100,00

On fait des lits de fusion de 3.198 kil., composés du mélange précédent. Les proportions de fondant fluoré et de scories basiques peuvent varier dans des limites assez étroites, suivant les besoins du travail.

Travail. On charge toutes les heures ou toutes les heures et demie. Le nez a toujours, même à l'air chaud, de 10 à 15 centimètres de long.

Produits : Matte cuivreuse. La matte produite est pauvre en cuivre; car, en moyenne, elle ne tient pas plus de 30 à 31 p. 100 de cuivre et de 0,16 d'argent.

En voici d'ailleurs une analyse :

Soufre	27,80
Cuivre	31,70
Fer	28,75
Zinc	4,35
Cobalt, nickel	1,25
Plomb	0,65
Silice, terres, phosphore, etc.	4,65
	99,21

Scories. Un lit de fusion produit environ 250 à 260 kil. de cette matte.

Les scories de ce travail peuvent être regardées comme des mélanges de proto et de bisilicates, comme le prouve l'analyse suivante :

Silice	50,00
Alumine	15,67
Chaux	20,29
Magnésie	4,37
Protoxyde de fer	8,73
Protoxyde de cuivre	0,67
Oxyde de zinc	1,11
	100,84

	fr.	
Le grillage de 100 kil. de schistes bruts coûtant. .	0,023	Frais spéciaux de grillage et fonte crue par 100 kil. de schistes bruts.
Le fondant nécessaire par quintal de minerai coûtant.	0.086	
Et les frais de fusion rapportés à un quintal de schistes bruts étant de.	1,030	
Le total des frais spéciaux sera donc de.	1,139	

Chiffre moindre encore qu'à Eisleben.

Le travail de concentration comprend deux opérations : le grillage de la matte et la fonte de concentration. Travail de concentration :

Le grillage se fait à deux feux dans des stalles formées par trois murs verticaux qui comprennent un espace de $4^{mq},81$ sur une hauteur de $1^{m},38$. 1° Grillage.

Au premier feu, on dispose à la base un lit de branches, puis, par-dessus, un lit de matte brute (Rohstein) cassée en morceaux de la grosseur du poing au plus; puis, un nouveau lit de bois, et enfin à la partie supérieure du menu rohstein. Le devant de la stalle se ferme par un mur en gros morceaux de matte. On met le feu en dessous; la combustion se propage assez lentement; on peut d'ailleurs l'activer en ouvrant de petits trous placés dans la paroi du fond. Premier feu.

Comme dans tous les grillages à l'air libre, il y a de grandes irrégularités dans les résultats, suivant les variations de l'atmosphère. La quantité de rohstein, chargée dans les stalles, influe aussi beaucoup sur la réussite du grillage. Avec les dimensions des stalles indiquées plus haut, la quantité qu'il paraît le plus convenable de charger est de 10.000 à 10.500 kil. de matte brute. La durée de ce premier feu est de huit à dix jours. Après ce temps, la matte est devenue plus poreuse; elle a déjà perdu une certaine proportion de zinc et de soufre par volati-

lisation; mais on ne peut par triage retirer qu'une très-faible proportion de matte bien grillée après ce premier feu; il faut la porter au deuxième feu.

Second feu. A ce deuxième grillage, la matte est jetée sur un lit de bois, auquel on a ajouté du menu charbon, afin d'augmenter la chaleur développée dans la stalle. Après ce deuxième feu, qui dure de dix à quatorze semaines, la matte doit avoir perdu tout éclat métallique; en brisant les morceaux, on ne doit plus apercevoir qu'une masse poreuse légèrement teintée de la couleur rouge due à l'oxyde de fer qui s'est formé; une nouvelle proportion de zinc et de soufre se volatilise encore; le fer, à l'état d'oxyde, est prêt à se scorifier dans la fonte qui va suivre. Malheureusement il se produit toujours de l'oxyde de cuivre : ce qui amène du cuivre réduit à la fonte suivante, car il ne reste plus assez de sulfure de fer dans la matte grillée pour qu'à la fonte de concentration on puisse, par les réactions entre le sulfure de fer et l'oxyde de cuivre, retenir le cuivre de l'oxyde dans la matte. On aura donc lieu de craindre que, à la suite d'un grillage trop complet, la fonte de concentration n'amène en même temps qu'une matte concentrée, des globules de cuivre qui se dissémineront non-seulement dans la matte, mais encore dans les scories. D'un autre côté, en ne poussant pas activement le grillage, le fer ne s'oxydera qu'en faible proportion, et l'on n'obtiendra pas une matte concentrée beaucoup plus riche que la première; le but de ce travail complémentaire sera manqué. On est ainsi entre deux écueils qu'on cherche à éviter aujourd'hui par une concentration au four à réverbère dont nous parlerons plus loin.

Les frais de grillage par 100 kil. de matte brute à griller se répartissent comme suit : Frais de grillage.

	fr.
0^{t},016 de charbon de bois, soit.	0,074
Fagots et branchages.	0,028
Main-d'œuvre (construction des tas, surveillance, transports).	0,056
Total.	0,158

Pour la fonte de concentration, les fourneaux sont du même modèle que les fours de fonte crue; seulement, leurs dimensions sont plus petites : ainsi la hauteur est de 3^{m},575. Le lit de fusion est beaucoup moins réfractaire qu'en fonte crue. On n'emploie qu'une seule tuyère, et on lance seulement 4 à 5 mètres cubes au lieu de 6 à 7 comme dans les fours de fonte crue. Fonte de concentration.

Quant à la composition du lit de fusion, on remarquera que les éléments à scorifier ici sont les oxydes de fer et de zinc, quelquefois d'autres métaux étrangers. On ajoute donc des matières siliceuses, et on choisit encore de préférence les bisilicates de la fonte crue; chaque lit de fusion se compose de Composition du lit de fusion.

kil.
5.330,00 de matte grillée à 2 feux,
1.332,50 de scories de fonte crue,
Soit pour 100 kil. de matte grillée, 25 kil. de scories.

Un pareil lit de fusion passe en vingt-quatre heures; on en retire une matte qui tient à peu près tous les éléments du *rohstein*, mais qui est beaucoup plus riche en cuivre; en voici d'ailleurs une analyse : Produits.

Matte.

Soufre.	24,35
Cuivre.	51,37
Fer.	18,67
Zinc, nickel, etc.. . . .	6,54
	100,93

En moyenne, le lit de fusion indiqué plus haut produit 65 à 70 p. 100 de matte concentrée ou *spurstein* tenant 48 à 50 p. 100 de cuivre et 0,20 à 0,25 d'argent.

Scories.

Les scories de concentration sont naturellement moins chargées en silice que celles de la fonte crue; aussi sont-elles moins vitreuses; elles présentent ordinairement une cassure terreuse d'un bleu noirâtre; en voici deux analyses :

N° 1.

Silice.	33,18	Oxygène. .	17,35
Alumine.	11,22		
Oxyde de fer.	32,03	Oxygène. .	18,96
Chaux.	17,14	Rapport. .	= 1
Magnésie.	2,96		
Cuivre en partie métallique. .	1,90		
Soufre.	traces		
	98,43		

N° 2.

Silice.	34,11	Oxygène. .	17,72
Alumine.	8,46		
Oxyde de fer.	37,68	Oxygène. .	17,90
Chaux.	13,38	Rapport. .	= 1
Magnésie.	4,57		
Cuivre en partie métallique. .	0,68		
Soufre.	0,46		
	99,34		

Ces analyses montrent que le rapport entre l'oxygène des bases et celui de la silice est sensiblement égal à 1 : ce sont donc des protosilicates.

Avantages et nécessité du travail de concentration des mattes.

Pour apprécier les avantages et même la nécessité de la concentration des mattes, il suffit de comparer les frais entraînés par ce travail complémentaire avec les frais de traitement des mattes à l'usine d'extraction de l'argent : quelle que soit la teneur en cuivre et en argent, on paye à l'extraction 15f,92 par quintal de matte.

Or, si l'on passait directement à l'extraction la matte brute à la teneur de 30 p. 100 de cuivre et 0,16 p. 100 d'argent, on payerait par 100 kil. de *rohstein* 15f,92.

Mais, par le grillage et par la fonte, ces 100 kil. se sont réduits à 56; car, par le grillage, la matte perd déjà 20 p. 100 de son poids et on en retire ensuite 65 à 70 p. 100 de matte concentrée. On ne payera donc à l'extraction que pour 56 kilogr. c'est-à-dire 8f,92. La différence est de 7 francs. En retranchant de 7 francs les frais de grillage et de fonte de concentration, nous aurons le bénéfice réalisé par ce travail.

Les frais de grillage à deux feux sont de 0f,158 par 100 kil. de matte brute ou bien par 80 kil. de matte grillée. Comptons donc 0f,20 par 100 kil. de matte grillée à deux feux.

Les frais spéciaux de la fonte de concentration sont, pour 100 kil. de matte grillée :

Combustible. . . .	1,69
Main-d'œuvre. . .	0,14
Total. . .	1,83

En ajoutant à cela les frais généraux, pour la plupart indivis entre la fonte crue et la fonte de concentration, on n'aura certainement pas plus de

2 francs dépensés pour la production de 70 kil. de matte concentrée, ou 1f,60 pour 56 kil.

La différence (7 fr. — 1f,60) représente donc le bénéfice qui résulte du travail de la concentration.

Essai de concentration au four à réverbère.

Si l'on pouvait pousser plus loin la concentration, on augmenterait proportionnellement le bénéfice ; mais avec le grillage à l'air libre et la fusion dans des hauts-fourneaux, on ne saurait y parvenir; nous en avons indiqué les raisons en parlant du grillage en stalles ; aussi songe-t-on à un travail particulier au réverbère dont nous ne pouvons qu'indiquer le principe; car on construisait le four quand nous sommes passés à Kupfer-Kammerhütte. Le four sera un four à réverbère analogue à ceux du pays de Galles. Par un grillage rapide, suivi de la fusion sur la même sole, on espère arriver à des résultats de concentration plus considérables. L'avantage de ce mode de travail, c'est qu'on peut faire arriver, sur toute la surface du bain à la fois, un courant d'air continu qui active l'oxydation et la scorification des métaux autres que le cuivre. Les réactions entre les oxydes et les sulfures de fer et de cuivre se font et se préparent mieux. On trouve au Hartz des exemples de ce travail; à Saint-Andréasberg, on effectue cette opération sous le nom de *Verblasen;* on concentre ainsi des mattes plombeuses très-pauvres en cuivre, de manière à obtenir des mattes cuivreuses, qu'on traite immédiatement pour cuivre noir.

Dans tous les cas, on peut prévoir qu'en effectuant la concentration au réverbère, on économisera du temps; car le travail se pourra faire à

chaque opération sur de plus grandes quantités qu'au haut fourneau.

Réunissant ici tous les frais de fonte crue, de grillage en stalles, de fonte, de concentration, nous aurons le tableau suivant : Frais totaux du traitement du quintal de schistes à Kupfer-Kammerhütte.

	fr.
1° Grillage en plein air.	0,023
2° Frais de fonte crue.	1,116
3° Grillage en stalles de 0q,08 de matte produits par un quintal de schistes bruts.	0,013
4° Fonte de concentration sur 0q,065 de matte grillée à deux feux.	0,120
Total des frais.	1,272

On arrive donc ainsi à un chiffre sensiblement égal à celui trouvé à Oberehütte dans le travail au coke, c'est ce qui confirme nos observations relativement aux avantages de la fonte à l'air chaud et dans les hauts fourneaux à plusieurs tuyères.

En terminant ce qui est relatif à la fonte pour matte, nous insérerons ici les résultats de recherches faites par *M. Heine* sur la composition des gaz sortant des hauts fourneaux à cuivre du Mansfeld. Des essais furent faits à l'usine de Creuzhütte, près de Leimbach; les fours avaient deux tuyères. On marchait successivement à l'air froid et à l'air chaud, au charbon de bois et au coke. A l'air froid, la pression du vent était de 0m,0177 de mercure, et à l'air chaud, de 0m,0203 (la température de l'air étant de 212 degrés centigrades). Recherches sur la composition des gaz des fourneaux à cuivre.

	VENT FROID.		VENT CHAUD.	
Prise de gaz au-dessous du gueulard.	m. m. 0,825 — 1,650	m. m. 0,825 — 1,650	m. m 0,825 — 1,650	m. m. 0,825 — 1,650
Combustibles. . . .	Coke de Berlin.	Charbon dur.	Coke de Rothenbourg.	Charbon de bois dur.
Azote.	46,41 — 66,09	33,38 — 61,02	67,85 — 69,10	60,98 — 61,27
Oxyde de carbone.	22,47 — 23,04	35,80 — 32,48	10,04 — 11,95	28,90 — 30,77
Acide carbonique.	25,25 — 8,90	15,44 — 3,28	20,80 — 18,67	6,34 — 4,14
Hydrog. carboné. .	» — »	1,54 — »	» — »	0,30 — 0,22
Hydrogène.	4,92 — 1,97	12,73 — 2,69	» — »	2,68 — 1,94
Acide sulfureux. .	0,95 — »	1,11 — 0,53	1,31 — 0,99	0,80 — 1,66

Conclusions.

En jetant les yeux sur ce tableau, on verra que la proportion d'acide carbonique est toujours plus grande avec le coke qu'avec le charbon de bois, ce qui prouve que le premier est plus avantageux que le second. La proportion d'oxyde de carbone est la moindre avec le coke et le vent chaud, mais la plus grande avec du charbon de bois et du vent froid. On voit enfin qu'il se dégage avec le charbon de bois de l'hydrogène et de l'hydrogène carboné qui doivent encore enlever de la chaleur au four.

Ces résultats, publiés par M. Heine, dans le journal dit *Bergwerksfreund*, en novembre 1843, n'ont reçu aucune application. M. Heine avait proposé l'emploi de ces gaz dans plusieurs opérations, entre autres la fonte crue des schistes, le grillage des mattes, etc. Mais aucun de ces essais n'a été tenté au Mansfeld. On n'a même pas employé le gaz au chauffage de l'air.

Essai de fusion directe au four à réverbère des schistes cuivreux non grillés.

En vue d'économiser le temps et le combustible, M. Heine a conçu récemment un nouveau projet de traitement : le bitume dégage, dans le grillage, beaucoup de gaz combustibles dont on

ne tire pas toute la chaleur qu'ils sont susceptibles de produire. En construisant un four à réverbère, dont la sole soit divisée en deux parties, sur la partie voisine de la chauffe, on placerait les schistes bitumineux bruts, et sur la partie voisine du rampant construite en forme de bassin, on recueillerait les produits de la fusion; la fusion aurait lieu, en cet endroit, sous l'influence de la chaleur venant de la chauffe, et de celle dégagée par la combustion des gaz bitumineux de la première partie de la sole.

On songeait seulement à construire le four à réverbère quand nous sommes passés au Mansfeld. Si la pratique permet l'application de cette idée, il n'est pas douteux qu'il y ait là économie de combustible; mais quelle que soit la longueur de la sole, sera-t-elle jamais assez grande pour que les gaz bitumineux, dégagés sur la première partie, aient le temps de brûler complétement sur la seconde? L'eau et l'acide carbonique, qui y sont mélangés, n'emporteront-ils pas autant et plus de chaleur que n'en produira la combustion incomplète des gaz bitumineux? Enfin, l'énorme quantité de scories n'obligera-t-elle pas à des réparations trop fréquentes du four? Voilà les difficultés pratiques contre lesquelles il faudra lutter et qui feront peut-être rejeter le projet de M. Heine.

Au lieu de vouloir faire le grillage et la fonte crue sur la même sole, on pourrait, peut-être, avec plus d'avantages, griller séparément et fondre les schistes grillés dans un four à réverbère. On aurait d'abord un avantage incontestable, un travail plus rapide, c'est-à-dire économie de temps. La perte de chaleur latente ou sensible par les gaz sortant du four serait moindre au réverbère qu'au

haut fourneau ; enfin, le four à réverbère semble se prêter mieux à la concentration de la matte pendant la fonte crue elle-même.

DEUXIÈME PARTIE.

Extraction de l'argent contenu dans les mattes. — Fonte des résidus pour cuivre noir. — Affinage du cuivre noir.

§ I. *Extraction.*

Usine de Gottesbelohnung.

L'usine de Gottesbelohnung est située à une demi-heure au Sud d'Hœttstœdt. Elle avait été bâtie pour l'amalgamation des mattes, et elle fut l'usine générale d'amalgamation du Mansfeld jusqu'en 1842 ou 1843, époque où commencèrent les essais de M. *Augustin*. Cet ingénieur, partant des principes de l'amalgamation ordinaire, transformait cette méthode en une autre plus simple, où, rejetant le mercure, il n'usait que du sel marin pour changer l'argent en chlorure d'argent, qu'il dissolvait ensuite dans une solution chaude de chlorure de sodium. De cette liqueur, il précipitait l'argent par du cuivre métallique. Mais M. Augustin dépassait encore là un point important : c'est celui de la formation du sulfate d'argent pendant le grillage. M. Ziervogel, directeur de l'usine de Gottesbelohnung, avait déjà étudié l'opération sous ce point de vue ; il formula ses observations et en créa un nouveau procédé : il consiste à obtenir du sulfate d'argent au lieu de chlorure, à le

dissoudre dans l'eau chaude, et enfin à précipiter l'argent par le cuivre métallique. Ce dernier procédé est devenu un procédé courant, qui avait remplacé celui d'Augustin à l'époque de notre passage au Mansfeld.

L'amalgamation des mattes et les nouveaux procédés comprennent les opérations suivantes :

Ensemble des divers procédés d'extraction ou de désargentation des mattes.

1° Le bocardage des mattes, le tamisage des farines, etc., opérations s'exécutant de la même manière dans les trois procédés.

2° Le grillage et l'extraction proprement dite ou désargentation.

C'est dans la première opération de cette deuxième période que l'on distingue les premières différences entre les trois méthodes.

Dans l'amalgamation des mattes, on faisait deux grillages :

Le premier, dit *vorrösten* (grillage préparatoire), avait surtout pour but de se débarrasser d'une grande portion du soufre; il se formait des sulfates de fer, de cuivre et d'argent, qui, par un coup de feu donné vers la fin, produisaient des oxydes de fer, de cuivre et de l'argent métallique.

Entre ce grillage et le second, on mélangeait la matière grillée avec du sel marin et de la chaux carbonatée. Cette opération, dite pétrissage ou *Einsumpfung*, avait surtout pour but de donner un mélange intime où le sel marin fût bien en contact avec l'argent métallique, afin de produire dans le grillage suivant (*gaarrösten*) du chlorure d'argent; on introduisait ce calcaire pour décomposer les sels métalliques : aussi, pendant ce pétrissage, il se dégageait beaucoup d'acide carbonique; il se formait du SO^3CaO, réactions qu'on supposait devoir, comme dans l'amalgamation

américaine, aider beaucoup à la chloruration de l'argent.

Dans le procédé Augustin, on grille également en deux reprises : le premier grillage développe beaucoup d'acide sulfureux, des vapeurs de soufre, et il se forme, en dernier lieu, des sulfates de fer, de cuivre et d'argent. Si les sulfates ne sont pas encore formés à la fin du premier grillage, ils apparaissent décidément quelque temps après le commencement du second ; car on a soin de commencer alors par une période d'oxydation. Si, comme dans l'amalgamation, on introduisait le sel marin dès le début du second grillage, il s'en consommerait beaucoup pour détruire les sels de cuivre et de fer, et de plus, la haute température du four en ferait perdre encore. On laisse donc la matière, sans sel, s'échauffer progressivement; la température devient suffisante pour transformer les sulfates de fer et de cuivre en oxydes correspondants. Si le coup de feu n'est pas trop vif, le sulfate d'argent reste indécomposé. C'est après ce coup de feu qu'on introduit le sel marin, et que s'effectue la chloruration de l'argent.

Enfin, M. Ziervogel fait aussi deux grillages successifs ; ils sont seulement conduits moins vivement et avec plus de précaution que précédemment; car tout l'argent doit rester à l'état de combinaison soluble dans l'eau chaude, à l'état de sulfate. Le principe de M. Ziervogel est d'utiliser le soufre contenu dans la matte, et de n'avoir besoin d'aucun réactif étranger pour extraire l'argent. On avait bien déjà proposé (*) des méthodes

(*) *Voyez* Annales des mines, t. II. — Essais sur le cuivre gris de Sainte-Marie-aux-Mines, par M. Berthier.

de désargentation des mattes, au moyen de l'acide sulfurique; mais on grillait complétement la matte pour traiter ensuite le produit du grillage par l'acide sulfurique : on chassait le soufre et on oxydait complétement les métaux pour les transformer encore en sulfates.

Après le grillage, les opérations étaient encore longues, dans l'ancienne amalgamation, avant de produire de l'argent métallique; il fallait encore amalgamer l'argent, filtrer cet amalgame, le distiller, et enfin raffiner l'argent obtenu. Les résidus cuivreux, débarrassés des dernières traces d'amalgame, étaient desséchés, mélangés avec de l'argile et fondus pour cuivre noir.

MM. Augustin et Ziervogel, dès que les grillages sont terminés, font directement passer, sur des tonnes pleines de mattes grillées, le premier, une dissolution salée qui enlève le chlorure d'argent, et l'autre, de l'eau chaude qui dissout le sulfate d'argent. De ces dissolutions, on précipite l'argent par le cuivre métallique. Les résidus sont, de même que dans l'amalgamation, mélangés avec de l'argile, pétris en boules, puis livrés à la fonte pour cuivre noir.

Détails du procédé Augustin (*).

1° Préparation de la matte en farine prête au grillage.

Les mattes sont bocardées à sec; les broyées sont criblées à travers un tamis dont les mailles ont de 1 à 2 millimètres de large. Ce qui reste sur le crible est reporté au bocard, et ce qui passe est

(*) Ce que nous dirons du procédé Augustin sera le résumé de ce que nous avons pu apprendre au Mansfeld, où le procédé ne marchait pas quand nous y sommes passés, et de ce que nous avons vu nous-mêmes à Freiberg où il est appliqué.

porté sur un bluttoir double consistant en deux cylindres à toiles en fil de fer, placés l'un dans l'autre et donnant effectivement trois classes de grains :

1° *Gros grains* (grobeknörper), qui repassent au bocardage;

2° *Grains moyens* (mittelfeines), qui vont à un moulin composé de deux meules de granite;

3° *Une poussière fine et impalpable* (feines), qui est immédiatement livrée au grillage.

On comprendra maintenant l'inconvénient des mattes qui renferment des globules de cuivre métallique; car ce métal s'aplatira sous les pilons ou sous les meules en granite, et il ne se réduira pas en poussière; il ne pourra donc pas passer à l'extraction, et l'argent qu'il contient ne saurait lui être enlevé.

On estime que moyennement, sur la quantité bocardée, il y en a la moitié réduite en poussière (3°). Le moulin qui doit moudre les grains (2°) donne des produits ordinairement assez fins pour aller au grillage.

Personnel du bocardage, tamisage, etc.

Trois ou quatre ouvriers peuvent être nécessaires pour un bocard de trois ou six flèches, et pour une paire de meules qui en dépendent.

2° Grillage de la farine.

Le four de grillage est à double sole construit comme le four de grillage qui servait autrefois à l'amalgamation des mattes. On y distingue en réalité deux fours : l'un, le supérieur, dit *blinder-ofen* ou *four aveugle*, à cause de la basse température qui y doit toujours régner, et par suite de l'absence des flammes sur la sole supérieure; l'autre le *four inférieur* ou *unter-ofen*. Ils ont chacun leur chauffe; mais ordinairement

on n'entretient pas la grille de la sole supérieure, et on laisse un conduit entre les deux fours, pour amener les gaz chauds de la sole inférieure sur la supérieure.

Combustible. On emploie indifféremment la houille ou le bois; mais ce dernier combustible, employé au Mansfeld, paraît préférable à cause de la longueur des flammes qu'il produit.

Voici comment se conduit le grillage :

Les charges sont préparées d'avance dans des petits chiens en tôle qui servent au transport depuis le bocard jusqu'au four. Une charge est ordinairement de 205 kilog. au Mansfeld, et de 140 kilog. à 185 kilog. à Freiberg où les mattes sont très-variables de nature et plus ou moins difficiles à griller. Dans tout ce qui va suivre nous supposerons qu'on brûle du bois, et que le four supérieur est chauffé par les gaz venant du four inférieur. Alors, pendant que le premier grillage se fait sur la sole supérieure, le grillage définitif se fait sur la sole inférieure, et voici un tableau comparatif des périodes correspondantes des deux grillages simultanés.

Tableau des différentes périodes du grillage.

FOUR SUPÉRIEUR.

a. 1re *période.* — Chargement et brassage continu de la farine pendant 1 h. à 1 h. 1/4.

b. 2e *période.*— 1er retournement de la matière sur la sole; puis nouveau brassage continu pendant 1 h. à 1 h. 3/4.

c. 3e *période.* — 2e retournement et brassage qui dure jusqu'à ce que la charge précédente soit bien grillée et chlorurée dans le four inférieur, et qu'on puisse faire descendre au four inférieur la charge préparée en haut.

FOUR INFÉRIEUR.

d. 1re *période.* —	1/2 h. d'oxydation, 1/2 h. de brassage (pendant ce temps on brûle 41 kil. de bois en fagots).
e. 2e *période.* . .	Retournement de la matière. Brassage continu de 1 h. 1/2 pendant lequel on brûle 103 kil. de bois.
f. 3e *période.* . .	Retournement; brassage de 1 h. 3/4, pendant lequel on brûle 50 à 60 kil. de fagots. Enfin chloruration et déchargement pendant 1/4 d'heure.

La farine introduite sur la sole supérieure y est étendue de manière à offrir le moins d'épaisseur possible; l'ouvrier se sert pour cela d'une palette en fer dont la manœuvre est rendue plus facile par un rouleau qui lui sert d'appui à la porte de travail. La matière étant étendue, l'ouvrier introduit un rateau en fer dont la tête pèse de 30 à 35 kilog., et qui, traîné toujours parallèlement à lui-même par l'ouvrier, brasse constamment la farine. La matière s'échauffe peu à peu; le soufre fond avant de se réduire en vapeurs ou de s'oxyder : cela tend à agglutiner la matière, effet qu'on empêche en n'élevant pas trop la température au commencement et en brassant continuellement. L'air pénètre par la porte de travail ou encore par des ouvraux pratiqués, comme à Freiberg, un peu au-dessus du niveau de la sole. C'est pendant cette première période que le soufre passe à l'état d'acide sulfurique qui se combine aux oxydes métalliques ou à l'état d'acide sulfureux qui se dégage. Mais les matières voisines du rampant sont soumises à une température moins élevée que celles

de l'autel; la matte étant donc déjà sulfatisée et oxydée en ce dernier point, ne l'est pas encore près du rampant; on fait alors ce qu'on appelle un *wenden* ou retournement de la matière; au moyen de la pelle substituée au rateau, l'ouvrier porte à l'autel ce qui était au pont, et réciproquement. C'est là le commencement de la deuxième période *b*, qui continue par un brassage d'une heure comme la période *a*. Pendant ce temps, il se dégage toujours des vapeurs sulfureuses, et vers la fin de cette deuxième période, la température s'élevant dans le four inférieur, la chaleur devient plus vive aussi dans le four aveugle; alors se fait un second retournement et commence la troisième période pendant laquelle se termine la sulfatisation des matières ou au moins des parties voisines de l'autel. C'est vers la fin de cette troisième période que la température baisse dans le four inférieur; ce qui fait que la sulfatisation ne peut se faire complétement pendant ce temps. A la fin de la troisième période, la charge précédente pouvant être enlevée du four inférieur, on y fait tomber la matière déjà élaborée dans le four aveugle. Pendant la première demi-heure on n'a pas besoin de chauffer, la température de la sole inférieure est suffisante pour que l'oxydation et la sulfatisation de la matière sortent complètes au bout de ce temps. La deuxième demi-heure de la période *d*, on jette du combustible sur la grille de manière à couvrir la sole de flammes; la température s'élève donc rapidement, et bientôt commence la décomposition des sulfates de fer et de cuivre; on fait un premier retournement, et l'opération se continue avec une température toujours croissante.

Prise des essais. Enfin, vers la fin de la période *e* et pendant la dernière *f* on prend des essais; d'abord vers la fin de *e* on essaye la matière qui est alors voisine de la chauffe : on doit n'avoir plus qu'un mélange d'oxydes de cuivre et de fer, d'argent métallique et de sulfate d'argent : si donc on prend, dans une cuiller en fer, une portion de farine près du pont, et que la mettant dans une capsule de porcelaine on l'humecte d'eau versée goutte à goutte, le liquide devra être complétement incolore et le grillage sera complet en ce point; au contraire, s'il présente une teinte bleu verdâtre, c'est un signe que les sulfates de fer et de cuivre ne sont pas encore complétement décomposés; on doit alors continuer l'opération sans retournement. La matière permet encore par son aspect dans le four de juger le degré d'avancement de l'opération : il ne doit plus se dégager de vapeurs sulfureuses. Quand on en est à ce point près du pont, on effectue un *wenden*, et on entre dans la dernière période *f*, dont la première époque, une heure et demie à une heure trois quarts, est un brassage continu qui a pour but d'amener au même point la matière qui vient d'être jetée au pont.

Chloruration. Toute la matière est alors dite *gut* ou *gaar-geröstet*, c'est-à-dire bien grillée. Alors vient l'époque de la chloruration : si l'on jetait sur la masse encore brillante qui est au four une charge de sel marin, il y en aurait beaucoup de perdu par décrépitation et par volatilisation ; pour éviter cela, on commence par rafraîchir la farine qui est au four en la couvrant de farine déjà grillée précédemment. Ainsi, pour une charge de 205 kilog. de matte qui est au four, on charge en deux ou trois fois 93^{k},55 de farine grillée froide, en ayant

bien soin de l'étendre uniformément sur celle qui est déjà au four. C'est au moment où l'on charge la dernière portion qu'on introduit le sel marin; la proportion est de 1,50 à 2 p. 100. On a été jusqu'à 5 et 6 p. 100 de la charge totale, mais 1, 1,50 à 2 p. 100 suffisent et au delà pour chlorurer tout l'argent.

Après l'introduction de ces matières, le brassage continue sans feu pendant dix minutes ou un quart d'heure, après quoi l'ouvrier rassemble la matière sur le devant du four et la décharge à la pelle dans de petits chiens en tôle. Au-dessus de ces petits chiens on dispose un tamis à mailles de 2 à 3 millimètres au plus, qui retiennent les grumeaux qui se sont formés dans le grillage. Comme ils n'ont pas subi bien complétement l'action chlorurante, ils doivent repasser aux opérations suivantes.

Le grillage de 205 kilog. de mattes dure donc huit heures environ, soit 4 heures en haut et quatre heures en bas. Le personnel d'un pareil four est de quatre ou six hommes par douze heures, c'est-à-dire deux ou trois en haut et autant en bas. Ils se partagent le temps de manière à ne rester jamais longtemps de suite exposés aux vapeurs qui se dégagent pendant ce travail. Durée du grillage; personnel du four.

La matte grillée et chlorurée est montée aux ateliers d'extraction dans les mêmes petits chiens en tôle, qu'on place sur les plates-formes d'un monte-charges allant au premier étage. C'est là que se trouvent les appareils de dissolution et de précipitation. Les *fig.* 1, 2, 3, 4, 5 (*Pl. XX*) représentent l'atelier d'extraction de Freiberg (usine de la Mulde).

On verra sur ces figures les plans des divers éta-

ges, et on y suivra facilement les opérations qui nous restent à décrire.

Disposition des ateliers de dissolution et d'extraction.

La matte chlorurée est emmagasinée dans une chambre *m* au deuxième étage; de là part un chemin de fer *f*,*f'* sur lequel roulent des wagons *c* portant les tonneaux qu'on a remplis au magasin. La plate-forme *p*,*p'* de ces wagons arrive juste au niveau des barres *a*,*a*..., sur lesquelles viennent rouler les roues *r*, *r'* adaptées à la partie inférieure des tonneaux.

Les barres en bois *a*, *d* reposent d'ailleurs sur les longrines B,B rattachées à la charpente générale indiquée *fig*. 1. D'un autre côté, dans les bassins I, I, se forme une dissolution de sel marin. Le sel dissout à chaud dans le bassin supérieur, passe dans le second, pour y prendre définitivement le degré de concentration et la température nécessaires à son usage ultérieur. Au volumètre de Gay-Lussac cette dissolution marque 80°; elle renferme environ 25 à 27 p. 100 de sel marin. Sa température est 40° R.; mais pour dissoudre le sel dans le bassin supérieur I, on emploie de l'eau à la température de 12 ou 15° seulement.

La dissolution saline ainsi préparée arrive par le conduit *b*A dans une rigole qui se prolonge au-dessus de tous les tonneaux A,A pleins de matte grillée. Cette rigole, en bois, est percée de trous munis de robinets qui permettent de faire arriver la dissolution dans tel tonneau que l'on veut. Le fond de ces tonneaux est construit ainsi qu'il suit : sur un premier plancher, qui ferme les tonneaux par le bas, on dispose une couronne de bois au-dessus de laquelle on fixe une planche circulaire percée de trous et servant, pour ainsi dire, de tamis aux eaux venant du dessus; mais on n'ar-

rêterait ainsi que les grains un peu grossiers entraînés par les eaux. Pour arrêter aussi les poussières, on dispose encore au-dessus de la planche à trous, un disque de toile qu'on fixe sur le pourtour au moyen d'un anneau en bois. Au-dessus encore, on place des petits copeaux de bois sur une hauteur de 10 à 12 centimètres. Tout cela forme un filtre à la suite duquel les eaux salées qui ont dissous le chlorure d'argent des mattes sont assez claires pour qu'on les laisse sortir par des robinets adaptés aux tonneaux, au-dessous de la couronne de bois inférieure. Ces eaux se rendent dans des conduits qui les amènent aux cuves de précipitation N, O, O', R, R', disposées en cascades les unes au-dessous des autres. La première N est destinée à répéter le filtrage des eaux : elle n'a pas de filtre au-dessus de son fond, mais les eaux y arrivent par un tuyau qui descend jusqu'au fond, tandis qu'elles en sortent par un robinet placé à la partie supérieure. De cette manière, les eaux avant de quitter cette caisse y déposent leurs dernières impuretés, pendant le trajet du fond à la surface. Les deux caisses ou tonnes O, O' ont des filtres comme celui décrit plus haut; au-dessus des copeaux de bois, on place une couche de 6 à 7 centimètres de cuivre de cément, destiné à précipiter l'argent de la dissolution saline. Cet argent se rassemble en couche au-dessus du cuivre; on l'enlève quand l'épaisseur de la couche atteint 4 à 5 centimètres. Les eaux sortant de O et O' sont alors chargées de chlorure de cuivre. C'est à la précipitation du cuivre que servent enfin les dernières caisses R et R'. Pour cela, on dispose dans ces caisses, au-dessus du filtre, de la ferraille. Le cuivre

précipité se rassemble en couches au-dessus de la ferraille.

Quant au chlorure de fer qui passe, il va se décomposer en ocre, à l'air libre, dans les canaux $\alpha\alpha'$ qui amènent les eaux aux bassins G,G. Des pompes P, P les élèvent de nouveau aux bassins I, I, où elles reservent aux opérations suivantes.

Au-dessus des cuves de précipitation, on dispose des disques en bois percés de trous qui divisent la solution et la répandent sur toute la largeur des cuves à la fois.

On verra sur le plan *fig.* 2, qu'il y a trois rangées semblables de cuves de précipitation. Les rigoles qui amènent les eaux des unes dans les autres étant mobiles, on peut ainsi, pendant qu'on vide les cuves d'une rangée, faire passer les eaux sur les autres.

Temps et quantité de sel nécessaires pour dissoudre tout l'argent d'une tonne.

Les tonnes à mattes A, A..... contiennent de 5 à 6 quintaux de matte chlorurée. En faisant passer la dissolution saline quatorze à quinze heures, on leur enlève tout le chlorure d'argent qu'elles renfermaient, et une lame de cuivre placée dans les dernières liqueurs qui passent ne doit plus donner de précipité. De même à la sortie des caisses O et O' les eaux ne donnent plus de précipité sensible d'argent par le cuivre. On emploie environ 3 mètres cubes de dissolution saline pour enlever tout l'argent d'un tonneau.

La solution saline ne saurait avoir une teneur supérieure à celle indiquée plus haut, car on aurait à craindre que par suite de la longueur des conduits à parcourir, la température des eaux baissant, le sel se déposât dans les rigoles en retenant alors du chlorure d'argent qui serait perdu.

Quand on a fait passer la dissolution saline assez longtemps sur les tonnes A, A....., on les vide et on les lave à l'eau chaude. Leurs résidus ou *ruckstände* tombent par un conduit γ de l'étage supérieur à un réservoir K, d'où on les extrait ensuite pour les préparer à la fusion.

Richesse des résidus en argent.

Par le procédé Augustin bien conduit, on estime que les résidus ne retiennent pas plus de 2 à 3 p. 100 de l'argent contenu dans les mattes. Ce résultat toutefois ne s'obtient qu'en conduisant le travail, et surtout le grillage, avec les plus grandes précautions; indiquons les principales difficultés de ce travail.

Difficultés et inconvénients du procédé Augustin.

Pour des mattes pures et de composition simple, comme au Mansfeld où elles ne contiennent guère que soufre, fer, cuivre et zinc, le grillage ne présente pas les mêmes difficultés que dans le cas où avec les éléments précédents on trouve encore du plomb, comme à Freiberg. En effet, les mattes plombeuses ont une tendance très-grande à s'agglomérer et à se durcir au grillage, et sans des précautions très-grandes, la chloruration de l'argent se fera difficilement; et les résidus en retiendront beaucoup. D'un autre côté, le sulfate de plomb qui se forme pendant le grillage ne se décompose pas comme ceux de fer et de cuivre. Il se formera donc du chlorure de plomb en même temps que du chlorure d'argent. Ils seront ensuite tous deux entraînés par la dissolution saline; mais le chlorure de plomb, moins soluble que l'autre, se déposera facilement en aiguilles cristallines dans les conduits, et il y aura certainement un peu de chlorure d'argent et de chlorure de sodium précipité avec ces aiguilles cristallisées. L'argent précipité plus loin par le cuivre ne sera pas non plus

exempt de plomb qui le salira et rendra son affinage plus difficile. De là donc des pertes directes et indirectes.

Il y a encore d'autres causes de perte d'argent. D'abord la volatilisation du chlorure d'argent, l'entraînement des poussières par les gaz de la chauffe et par les autres vapeurs qui peuvent se former pendant le grillage. Les mêmes causes augmentent aussi la consommation du sel marin. Toutes ces difficultés du grillage seraient encore bien plus grandes si les mattes renfermaient de l'antimoine et de l'arsenic.

Économies de temps et de matières premières obtenues par la substitution de ce procédé au procédé d'amalgamation.

Les renseignements exacts sur les frais de grillage nous ont été refusés au Mansfeld et à Freiberg. Mais sans aucun chiffre, on prévoit qu'on doit réaliser de grandes économies par la substitution du sel au mercure, vu surtout la simplicité et la rapidité avec lesquelles l'argent se retire ensuite de la dissolution. Les appareils de dissolution, les tonnes, les cuves, les pompes et conduits, tout cela est en bois, avec quelques cercles en fer seulement; un enduit de goudron préserve les tonnes et les cuves, d'abord contre les filtrations à travers les joints, et puis contre la destruction rapide qu'entraînerait leur exposition alternative à l'air et à l'humidité.

Tout cela donne lieu à des frais de premier établissement peu considérables; le personnel est d'ailleurs peu nombreux, car un atelier d'extraction qui, comme à Freiberg, ne comprend qu'un seul four de grillage, ne demande que huit hommes : quatre la nuit et quatre le jour, occupés à tous les travaux compris depuis le chargement des tonnes jusqu'à leur déchargement pour résidus. Enfin, n'était la cherté du sel, dont l'État a le mo-

nopole en Prusse, la méthode Augustin serait peut-être employée au Mansfeld, de préférence à la méthode Ziervogel, dont nous allons dire quelques mots (*).

La matte est bocardée, moulue et tamisée pour farine ou poussière impalpable, comme précédemment, puis elle est livrée au grillage. **Description sommaire du procédé Ziervogel.**

Le four de grillage est exactement celui qui servait au grillage dans l'ancienne méthode d'amalgamation ; M. Ziervogel a fait servir tous les fours construits pour cet ancien procédé. On connaît ces fours; ils sont à double sole, la supérieure étant chauffée par les gaz de la sole inférieure, ou toutes deux pouvant être chauffées par une grille particulière.

Quant à la conduite du grillage, il y a des différences notables avec le procédé Augustin ; nous regrettons qu'il ne nous soit pas permis de détailler cette opération : disons seulement qu'on charge, par opération, de 2 à 2 1/2 quintaux de farine. Le grillage préparatoire dure trois à quatre heures. Pendant ce temps, on renouvelle constamment les surfaces par un brassage interrompu seulement par deux retournements ou *wenden*. La température, très-basse au commencement, augmente successivement jusqu'au rouge sombre; c'est alors que la farine est envoyée au four inférieur. On la laisse dans le four, sans feu, pendant la première heure et demie; puis, pendant une heure et demie ou deux heures, on donne un

(*) Ce procédé n'est encore appliqué qu'au Mansfeld, et M. Ziervogel, tout en nous permettant avec beaucoup de bienveillance, de suivre son procédé, nous a prié de ne pas publier les détails des opérations.

coup de feu très-vif, après quoi on procède aux essais de la matière placée près de la chauffe. La température vers la fin de cette période est arrivée au rouge-cerise très-vif. Le difficile consiste à saisir ce point : pour cela, les ouvriers doivent examiner la masse qui est au four; la quantité et la nature des vapeurs qu'elle dégage, son agglomération plus ou moins grande, la quantité de bois qu'ils jettent sur la grille aux diverses époques du grillage sont autant de faits de l'observation desquels dépend beaucoup le succès du grillage. Les essais se font comme dans la méthode Augustin, mais les caractères ne sont pas les mêmes; ainsi la liqueur qui mouille la farine dans la porcelaine, au lieu d'être incolore, doit présenter une faible teinte bleuâtre annonçant qu'il reste un peu de sulfate du cuivre. On est assuré par là que tout l'argent reste à l'état de sulfate indécomposé, puisqu'on n'a pas poussé assez loin pour décomposer tout le sulfate de cuivre; ce qui reste d'ailleurs de ce sel dans la farine ne nuit pas à l'extraction ultérieure. La matte est déchargée, criblée au-dessus de petits chiens en tôle comme précédemment, et dès lors elle est prête à l'extraction.

Personnel. Durée du grillage.

La durée du grillage est un peu moins grande que dans le procédé Augustin. Le personnel de chaque four est le même, six ouvriers par poste de douze heures.

Atelier de dissolution.

Dès que la matte est grillée, les opérations subséquentes sont analogues à celles du procédé Augustin; il n'y a de changé que le dissolvant; la dissolution du sulfate d'argent se fait dans de l'eau chauffée à 70° ou 80°. Elle est amenée sur des tonnes pleines de matte; elle se rend ensuite, chargée de sulfate d'argent, dans des cuves où se

trouve du cuivre de cément, qui précipite l'argent en passant à l'état de sulfate; pendant quelque temps on évaporait ces eaux vitrioliques, quand elles s'étaient concentrées en repassant plusieurs fois dans les tonneaux; mais le vitriol se vendant mal en ce moment, il est plus avantageux de précipiter le cuivre par le fer et de le retirer ainsi à l'état de cuivre de cément.

Avantages de ce prodédé sur les précédents.

Le principal avantage de ce procédé, c'est de n'employer aucun réactif étranger, et d'économiser tout le sel qu'employait M. Augustin. Pour ce qui est du grillage, il est bien vrai qu'il est plus difficile à conduire, et cependant, à en croire les renseignements qui nous ont été communiqués, on arrive à des résidus très-pauvres en argent.

Sur 100 d'argent contenu dans la matte traitée, on ne perd guère par les résidus, par les vapeurs et entraînements pendant le grillage, que 4 à 5. C'est plus, sans doute, qu'avec le procédé Augustin, mais l'économie du sel compense largement cette perte, dont on approche d'ailleurs souvent, par un grillage mal conduit, dans le procédé Augustin.

La méthode Ziervogel s'appliquerait peut-être mieux que la première aux mattes de cuivre plombeuses; car le sulfate de plomb, qui peut se former pendant le grillage, s'il ne se décompose pas, reste au moins plus insoluble que le chlorure de plomb, qui entraînait de si grands inconvénients dans la méthode Augustin. Bref, si le sel coûte toujours aussi cher qu'aujourd'hui en Prusse, il paraît décidé qu'on abandonnera la méthode Augustin pour la méthode Ziervogel.

Adoption de l'un des deux nouveaux

Dans tous les cas, le procédé d'amalgamation des mattes sera remplacé par l'un des deux nou-

Procédés de préférence à la méthode d'amalgamation.

veaux, qui procurent d'abord de grandes économies comme matières premières, et qui, en résultat final, au lieu de laisser dans les résidus de 5 à 9 p. 100 de l'argent contenu, n'en laissent que de 1 à 5 p. 100.

§ II. *Fonte pour cuivre noir.*

Traitement des résidus pour cuivre noir.

Les résidus doivent contenir tout le cuivre et tout le fer des mattes soumises à l'extraction. Dans le procédé Augustin, ces deux métaux sont, dans les résidus, à l'état d'oxydes; mais, dans le procédé Ziervogel, l'eau vitriolique qui passe sur les résidus y laisse toujours un peu de sulfate de cuivre; pourtant, la plus grande partie du cuivre y est encore à l'état d'oxyde. C'est l'état auquel un *grillage à mort* amène une matte cuivreuse qu'on veut immédiatement traiter pour cuivre noir; on voit donc que, comme nous l'avions annoncé, le travail de l'extraction par les procédés nouveaux ne complique pas le traitement pour cuivre. Au lieu de grillages à cinq et six feux qu'on serait obligé de faire avant de fondre pour cuivre noir, on grille en une seule fois; seulement, on lave le produit du grillage avec un dissolvant des sels d'argent, après quoi les résidus sont prêts à la fusion. Voici leur mode de traitement dans le procédé Ziervogel: On les amoncelle en tas coniques sur des aires placées en général au premier étage. On les laisse ainsi s'égoutter pendant un temps plus ou moins long suivant l'état de la température. Ils sont ensuite pétris avec 10 p. 100 en poids d'un argile renfermant environ 50 à 60 p. 100 de silice et 40 p. 100 d'alumine. Avec ce mélange, on fait des boulettes de la grosseur du poing et

Desséchements et pétrissage des résidus.

on les rassemble en tas dans les greniers de l'extraction ou de la fusion. Ils se dessèchent là très-complétement et on les peut alors introduire dans les lits de fusion. Les autres matières premières sont :

1° Du sable tiré des formations triasiques voisines de l'usine et qu'on se procure à très-bon marché, c'est du quartz à peu près pur; **Autres matières premières de la fusion.**

2° Des scories provenant des haldes anciennes où sont accumulées les scories siliceuses de la fonte crue;

3° Dans le procédé Augustin, on introduisait de plus du gypse dans les lits de fusion : ce réactif agissait doublement, 1° par sa chaux qui donnait plus de fusibilité à la scorie; 2° par le soufre provenant de la décomposition de l'acide sulfurique; ce soufre du lit de fusion produisait un peu de matte qui réagissait constamment sur la scorie pour lui enlever le cuivre qui tendait à s'y introduire; cet élément se trouvant à l'état d'oxyde, a une grande tendance à entrer dans la scorie, et la production d'une *matte mince* ou *Dunnstein* est toujours désirable pour éviter les pertes en métal. La faible proportion de sulfate de cuivre qui reste dans les résidus Ziervogel sert à la production de cette matte mince et on n'a pas besoin d'introduire de gypse qui devait toujours coûter assez cher.

La fusion se fait dans de petits fourneaux de $4^{m},125$ de haut et du nouveau modèle. Ils n'ont qu'une tuyère et marchent à l'air froid. On avait voulu travailler à l'air chaud, mais, comme on devait s'y attendre, les scories devinrent tout de suite rouges et beaucoup plus riches en cuivre. On lance dans ces fourneaux de 4 à 5 mètres cubes **Fourneaux employés.**

d'air à la pression de $0^m,01$ à $0^m,02$ de mercure. Le combustible est le coke.

Le lit de fusion se compose de

Composition du lit de fusion.

quintaux.	
53,30	de résidus,
5,33	d'argile mélangée,
4 à 5	de sable,
8 à 10	de scories de diverses provenances,
0,50 à 1	de matte mince repassée au travail.

Travail. Le travail se conduit comme dans les fours de fonte crue et de concentration. Au lieu de matte, c'est du cuivre noir qu'on recueille dans les avant-bassins. On enlève successivement de ces bassins la matte mince, puis des rondelles de cuivre noir.

Produits. Par jour de vingt-quatre heures, on passe à peu près un lit de fusion comme celui indiqué plus haut et on retire 2.276 kil. de cuivre noir, 100 kil. environ de matte mince et 42 quintaux de scories. En examinant le lit de fusion et la nature des matières qui y entrent, on remarquera que la silice y entre à l'état de quartz dans le sable et à l'état de combinaison dans les scories des haldes; le but à atteindre par cette addition de silice est la scorification complète du fer, mais on doit se garder d'en ajouter un excès qui occasionnerait des pertes en cuivre. On cherche à produire un protosilicate ou encore un mélange de proto et de bisilicates.

Le cuivre noir obtenu contient 92 à 95 p. 100 de cuivre pur. La matte mince a une teneur de 50 à 60 p. 100. Elle repasse au travail même; on avait voulu en faire un traitement particulier analogue à celui de Sangerhausen, où l'on grillait en stalles à cinq ou six feux avec lavages métho-

diques produisant du sulfate de cuivre, après quoi on fondait pour cuivre noir; mais la faible production actuelle de matte mince, le peu de cherté du vitriol bleu ont fait renoncer à ce traitement.

Sans entrer dans le détail des frais de l'extraction et du traitement pour cuivre noir, par le procédé Ziervogel, nous dirons que par quintal de matte livrée à Gottesbelohnung par les autres usines, celles-ci payent 15^{f},92, y compris toutefois les frais d'affinage du cuivre noir. En déduisant ces frais d'affinage, on trouve que les frais spéciaux et généraux de l'extraction, comprenant le bocardage, le grillage, l'extraction proprement dite et la fonte des résidus pour cuivre noir, ne dépassent pas 8 *à* 9 *francs* par quintal de matte.

§ III. *Affinage du cuivre noir.*

Affinage du cuivre noir. Usine de Saigerhütte.

L'affinage du cuivre noir se fait encore actuellement dans l'ancienne usine de liquation à Saigerhütte, située à une demi-heure de Gottesbelohnung. Il est probable que d'ici à peu de temps on affinera le cuivre dans l'usine d'extraction même; on évitera ainsi les frais du transport entre Gottesbelohnung et Saigerhütte.

Trois espèces de cuivres marchands.

L'usine de Saigerhütte produit, en ce moment, trois espèces de cuivres marchands:

1° Le cuivre simplement affiné au petit foyer;

2° Le cuivre affiné et raffiné au four à réverbère;

3° Le cuivre produit par l'affinage au petit foyer, du cuivre noir obtenu par la refonte des crasses et scories anciennes.

Travail au petit foyer.

On affine ordinairement au petit foyer :

1° Le cuivre noir provenant de l'extraction ;

2° Le cuivre noir provenant des crasses et scories anciennes.

Quand on travaillait les mattes minces séparément, on avait une troisième sorte de cuivre noir. Nous parlerons seulement ici du travail d'affinage du cuivre noir provenant de l'usine d'extraction.

Disposition et construction des foyers.

Sous une même hotte sont toujours disposés deux petits foyers; cette disposition offre l'avantage de moins perdre de temps entre deux opérations, de pouvoir utiliser les menus charbons provenant de l'un des foyers en les jetant dans l'autre à l'opération suivante. Le massif de ces deux foyers est d'ailleurs adossé à un mur derrière lequel sont installés les soufflets; ce mur porte encore les tuyères. Au-dessus des fours, la hotte commune se termine par un massif de maçonnerie supporté au moyen de jambages par le massif inférieur de foyers. Dans le massif supérieur sont des chambres de condensation à travers lesquelles circulent les gaz et les fumées avant de gagner la cheminée; on espère ainsi retenir les petites particules de cuivre métallique que le vent soulève du bain d'affinage et que les fumées entraînent.

La figure du foyer est celle d'un cône renversé; sa section horizontale est une ellipse tronquée par la paroi de la tuyère. L'axe parallèle à la varme a $0^m,550$ de long et l'autre $0^m,48$. La profondeur est $0^m,19$. Ces dimensions varient fort peu; elles dépendent de la quantité qu'on doit charger et l'expérience a imposé des limites au poids des charges. Pour que le bain ne soit pas trop considérable et que le vent conserve une ac-

tion régulière, on ne doit pas charger à la fois plus de 260 à 320 kil.

Voici comment se construit le foyer : on dessèche d'abord le creux laissé au milieu de la maçonnerie, puis on verse deux ou trois brouettées de scories concassées en petits fragments; par-dessus on jette encore une à deux brouettées d'argile sableuse, et enfin autant d'argile bien pure. Au milieu de cette masse argileuse on ménage une cavité qui a la forme du foyer, et c'est par-dessus cette assise bien damée qu'on jette ensuite la brasque proprement dite. Elle se compose : 1° d'argile toujours mélangée de sable provenant des formations triasiques voisines; 2° de menu charbon de bois. Autant on évite les argiles mélangées de calcaire qui empâte les scories, autant on recherche les argiles avec sable qui aide beaucoup à la scorification des métaux étrangers. Mais telles proportions d'argile qui réussissent très-bien avec certaine sorte de cuivre noir, ne réussiront plus avec une autre. Une forte proportion d'argile rend plus pénible l'enlèvement des rondelles de cuivre rosette. On évite cet inconvénient par un excès de charbon dans la brasque.

En général, pour le travail qui nous occupe, on est satisfait du mélange de deux parties d'argile sableuse et une partie de poussière de charbon. On pétrit le tout avec un peu d'eau, en y ajoutant un peu d'argile pure en cas de défaut de consistance du mélange précédent.

Après chaque opération, il faut réparer le foyer. Ce travail consiste à enlever les scories qui obstruent l'orifice de la tuyère et qui adhèrent aux parois du feu; on remplace l'ancienne brasque de manière à rétablir exactement la forme. Ces ré-

parations sont peu considérables; elles sont faites par les ouvriers affineurs eux-mêmes après chaque opération. Au bout de deux ou trois mois, il faut reconstruire complétement le foyer.

La tuyère reçoit une inclinaison différente avec chaque nature de cuivre noir; afin de rendre les déplacements plus faciles, on laisse une petite voûte dans la varme, on place la tuyère et on remplit avec du mortier l'espace libre sous la voûte.

La tuyère est en cuivre, mais les deux buses sont en tôle à orifices circulaires de 2 à 3 centimètres de diamètre. L'inclinaison est de 10° pour le travail du cuivre noir de l'extraction. L'avancement dans le foyer est de 0m,035 : de plus l'axe de la tuyère prolongé doit passer par le centre de la section horizontale du foyer.

Les machines soufflantes sont de vieux soufflets, dont il est impossible d'évaluer l'effet utile.

Combustible. Le combustible employé est du charbon de bois léger. On rejette les charbons durs et lourds, parce que, plus difficiles à brûler, ils se divisent et se brisent sous le courant d'air qui arrive incessamment sur le foyer : ils se réduisent en menu incapable de produire le même effet que le gros charbon.

Au commencement de l'opération, on dessèche la sole par la combustion de quelques escarbilles ou menus charbons provenant de l'opération précédente. On charge du charbon sur une hauteur de 8 à 10 centimètres, et par-dessus la quantité de cuivre noir préparée d'avance. Le maître affineur doit veiller à ne pas jeter le cuivre sur les parois ; il doit aussi laisser entre la varme et le tas de cuivre un espace de 8 à 10 centimètres.

On échauffe d'abord le cuivre assez lentement pendant une demi-heure, puis on augmente la quantité de vent et la fusion commence. L'ouvrier doit veiller à ce qu'il ne tombe pas de gros morceaux non fondus dans le bain qui recouvre déjà le fond; il y aurait par là refroidissement du bain. Pour éviter cet inconvénient, l'affineur doit remplir le foyer de charbon qui maintienne bien les morceaux de cuivre.

La durée de la fusion varie avec la charge et avec la pureté du cuivre. Pour une charge de 260 kil., la durée est comprise entre trois quarts d'heure et une heure un quart.

Après la fusion, le creuset est plein jusqu'au-dessous de la tuyère. De cette manière, le vent débouche directement sur la surface supérieure du bain, et l'oxydation des métaux étrangers se fait mieux et plus rapidement.

On laisse encore le vent souffler pendant quelques minutes après la fusion; on rend ainsi au bain la chaleur qu'il a perdue en venant toucher la sole; on achève en même temps la fusion des petits grains cuivreux égarés dans la scorie.

On arrête le vent et on procède à un premier enlèvement des scories qui se sont formées au-dessus du bain. Pour faire cet écumage, on enlève les charbons qu'on rejette sur les côtés du foyer, et les scories étant écumées, on ramène les charbons sur le feu; on charge du charbon frais et on redonne le vent L'affineur n'a qu'à veiller, dès ce moment, à ce qu'une quantité suffisante de charbon soit toujours au feu : il doit aussi veiller à ce que les scories ne gênent pas l'arrivée de l'air en obstruant la tuyère.

Bientôt il faut procéder à un nouvel écumage

des scories, qui forment peu à peu une couche épaisse devant la tuyère. Cet écumage se fait comme plus haut, et on remet le travail en marche de la même manière.

A partir de cet instant, c'est une attention particulière qu'il faut de la part de l'affineur; car c'est alors que vient la période de l'ébullition, dit en allemand *kochen des heerdes*. Le soufre enfermé jusqu'ici dans le bain s'échappe à l'état de vapeurs, mais surtout à l'état de gaz sulfureux. Ce dégagement produit une vive ébullition. Quand arrive ce moment, le feu doit être très-vif; l'affineur doit faire couler les scories plus souvent, repousser quelquefois les charbons de la surface du bain, afin de reconnaître si l'ébullition n'apparaît pas encore. Dès l'instant où elle se manifeste le vent est vite arrêté, charbons et crasses sont rejetés *hors du* feu, car cette ébullition augmentant et se prolongeant détériorerait la sole; et d'ailleurs si cet acide sulfureux était renfermé dans le bain par des scories et des charbons, il pourrait nuire à la pureté du cuivre. On laisse donc le cuivre découvert pendant dix ou quinze minutes. D'épaisses vapeurs d'acide sulfureux se dégagent et l'ébullition cesse peu à peu. Le cuivre se recouvre d'un peu d'oxyde et les vapeurs disparaissent. Si l'on veut chasser complétement les vapeurs, le cuivre ainsi découvert s'oxydera; c'est à l'affineur à bien saisir le moment où il doit recouvrir son feu. Après cela il continue exactement comme avant l'ébullition.

C'est après cette période que l'on charge les disques impurs de l'opération précédente pour les purifier par un nouveau travail.

Le foyer reprend sa température primitive. On

charge du charbon et on procède à des écumages comme avant l'ébullition. Chaque fois que le bain se trouve à découvert, l'affineur juge de l'aspect et par suite de la nature du cuivre; on le voit prendre peu à peu la couleur du cuivre métallique. Cela arrive plus ou moins vite suivant la nature des cuivres noirs. Avec un cuivre noir impur, on devra enlever les scories encore quatre ou six fois après l'ébullition; avec un cuivre noir plus pur, deux ou trois écumages suffiront.

Pour prendre les essais, on se sert d'une tige en fer qu'on plonge dans le bain et qu'on refroidit rapidement par immersion dans l'eau froide. On peut après cela détacher le dé de cuivre de la tige de fer. Quant aux caractères au moyen desquels on juge de la nature du cuivre, ils sont fondés sur la couleur et sur la résistance du dé. Mais la couleur est un indice plus sûr que la résistance, car celle-ci dépend beaucoup de la rapidité avec laquelle l'essai a été pris et refroidi. La résistance s'estime par la pression des mains et du marteau. La couleur des premiers essais est d'abord le jaune mélangé de taches noirâtres; la couleur des derniers est le rouge rosé. L'opération est alors complétement terminée; le cuivre est recouvert par-ci par-là de taches noirâtres d'oxydule. Pour éviter une trop grande oxydation du cuivre, dès qu'on en est arrivé là, on arrête rapidement les soufflets, on rejette les charbons sur les côtés du foyer, on nettoie la surface du bain, on enlève les scories et on prend le cuivre affiné ou *cuivre rosette* en rondelles. L'aide-affineur jette de l'eau sur la surface du bain qui se refroidit sur une certaine épaisseur; cette épaisseur est celle de la première rondelle. Le maître la soulève et la passe

à l'aide qui la porte dans une caisse pleine d'eau placée près du foyer. On enlève ensuite la deuxième, la troisième, etc. Les premières sont toujours impures et on doit les passer au travail après la période d'ébullition.

Produits et consommations.

La durée de l'opération totale est de cinq heures environ dont une heure de fusion, une heure pour l'enlèvement de rondelles; restent donc trois heures de travail d'affinage proprement dit.

Il y a toujours deux ouvriers présents au travail.

Par 100 kil. de cuivre noir, on produit 78 kil. de cuivre rosette, et on retire encore des crasses 7k,70 de cuivre (qualité inférieure).

La consommation en charbon est estimée à 80 ou 85 kil., à 4f,58 les 100 kil.

La main-d'œuvre est par 100 kil. de cuivre rosette 1f,18.

Mais 100 kil. de cuivre noir produisent seulement 85k,70 de cuivre rosette.

En calculant les frais d'après ces données, par quintal de cuivre rosette produit, on arrive à un chiffre de 8f,68.

Essai de raffinage au petit foyer.

On a fait à Saigerhütte des essais pour donner au cuivre toute sa malléabilité et cela à la sortie même du petit foyer. On faisait pour cela la même opération que dans les fours à réverbère anglais; vers la fin du travail on introduisait dans le bain une perche de bois vert; on avait arrêté le vent et le bain était brassé en présence de cette perche; les résultats paraissent avoir été très-bons, mais l'introduction des fours à reverbère comme fours de raffinage a fait renoncer à cette opération complémentaire du petit foyer. Cette opération entraînait toujours là un surcroît de main-d'œuvre

d'autant plus sensible qu'on opère toujours, au petit foyer, sur de petites quantités à la fois.

Emploi des fours à réverbère pour l'affinage du cuivre. Economies de temps et de combustible.

Les fours à réverbère pour l'affinage et pour le raffinage du cuivre présentent de grands avantages sur les petits foyers. Ces avantages se traduisent en économies notables de main-d'œuvre et de combustible.

Ainsi, quand le petit foyer demande 85 kil. de combustible, le four à réverbère représenté *fig.* 6, 7, 8 (*Pl. XX*) n'en demande que 55 à 60 kil. au plus.

Pour la main-d'œuvre, elle est de 0f,20 à 0f,25 par quintal de cuivre raffiné, plus élevée qu'au petit foyer; mais comme le cuivre sort du réverbère malléable et immédiatement propre à tous ses usages, on comprend que cette augmentation des frais doit être compensée et au delà par les frais du raffinage qu'on doit faire subir au cuivre rosette sortant du petit foyer.

Four à réverbère avec chauffe disposée en générateur à gaz combustible.

Nous ajouterons quelques mots sur la construction de ces réverbères; ils sont intéressants à cause des dispositions prises pour utiliser les gaz provenant de la combustion.

On verra sur les *fig.* 6, 7, 8 que par un registre RR' soulevé à volonté, on ouvre ou on ferme l'entrée de la chauffe. C'est par l'ouverture correspondante à ce registre qu'on introduit le combustible sur la grille GG' jusqu'au niveau *mm'* par exemple. L'air arrive pour brûler la houille contenue dans l'espace G par dessous la grille et par les ouvertures VV', VV'. Sur la hauteur G*m* il se forme des gaz combustibles; c'est là le générateur à gaz. L'air destiné à brûler ces gaz sur la sole SS' du four se rend à un petit réservoir *o*, où il arrive chaud; pour cela, on remarquera sur la

fig. 8, entre la grille et la maçonnerie MM de la chauffe, des espaces *cc'*, *cc'* séparés de la grille par des plaques de fonte verticale H', H'; l'air entre dans ces conduites, s'échauffe au contact des plaques, et par des canaux il se rend, à travers la maçonnerie, à l'espace O. De là il passe sur la sole et brûle vers B les gaz qui arrivent par un conduit KK'.

Le but qu'on s'est proposé a été d'obtenir sur la sole une haute température concentrée vers le milieu de la sole à peu près. Or on sait que l'emploi des gaz combustibles exige certaines précautions : ainsi, autant que possible, il faut pouvoir régler le courant d'air destiné à brûler ces gaz; c'est ce qu'on ne pourra pas faire ici où l'on dispose seulement d'un courant d'air naturel.

D'un autre côté, la longueur BK du rampant, où l'air doit se brasser avec les gaz venant de la chauffe, n'est peut-être pas assez grande pour que le mélange se fasse bien complétement.

Four à réverbère avec générateur à gaz séparé.

N'ayant pas obtenu les résultats d'économie qu'on attendait, on a construit séparément le générateur et le réverbère. Dans une espèce de cubilot on brûle directement le combustible accumulé sur une grande hauteur. Les gaz combustibles qui en sortent sont amenés dans une caisse en fonte placée en avant de la sole où sont aussi disposées sept tuyères qui lancent du vent chaud destiné à la combustion des gaz. Les gaz et l'air chaud sont bien mélangés avant d'arriver sur la sole, et la combustion a lieu complétement à peu près au tiers de la longueur de la sole. C'est vers ce point que deux tuyères placées sur le côté de la sole lancent l'air nécessaire aux réactions de l'affinage et du raffinage.

Un des inconvénients de cet appareil, c'est sa grande complication; il y a souvent des réparations à faire. Les frais de premier établissement sont considérables. De plus, la combustion du charbon dans cette espèce de cubilot le détruit rapidement, surtout un peu au-dessus de la grille où la température est très-élevée.

Bref, les essais faits avec cet appareil n'ont pas répondu à ce qu'on attendait. On espérait pouvoir ne brûler dans le générateur que des menus combustibles; mais il faut au contraire charger du combustible de bonne qualité pour avoir un courant régulier de gaz combustibles.

Travail d'affinage dans les fours à réverbère précédents.

Pour ce qui est du travail d'affinage du cuivre noir dans ces fours à réverbère, on en est satisfait d'abord au point de vue économique, nous l'avons déjà dit, mais aussi eu égard à la nature du cuivre produit.

Le cuivre qui provient du petit foyer, non-seulement n'est pas malléable et retient toujours de l'oxydule de cuivre, mais il tient encore du soufre. Au contraire, celui qui vient des fours à réverbère est très-pur et propre à tous les usages. Le départ du soufre doit être plus complet au réverbère qu'au petit foyer. Dans celui-ci, en effet, l'action oxydante ne se fait guère sentir qu'à la surface du bain, et l'épaisseur du bain étant plus grande qu'au réverbère, le travail de l'affinage doit se faire moins rapidement et aussi moins complétement.

Quant aux détails du travail aux réverbère, il nous suffira de dire qu'ils sont les mêmes que dans la dixième et dernière opération de la méthode galloise. Seulement, les fours du Mansfeld sont moins grands que les fours anglais. Ainsi on charge

3.500 kil., et l'opération dure de vingt et une à vingt-quatre heures. Le personnel est de six hommes par vingt-quatre heures, et les 100 kil. de cuivre raffiné coûtent seulement de frais d'affinage et de raffinage 7f,79.

Nous aurions voulu terminer cette notice par un tableau des frais par quintal de cuivre produit; mais l'absence de tout renseignement précis sur les dépenses de l'extraction nous empêche de le faire. Le prix de revient d'aujourd'hui ne pourrait d'ailleurs être considéré comme définitif, car dans l'état actuel des usines il y a encore beaucoup à modifier, et on songe à le faire. Ces modifications porteront surtout sur les transports; on a dû remarquer que les différents produits sont transportés successivement des usines à matte à l'usine d'extraolion, et enfin de celle-ci à l'usine d'affinage. Or il est probable qu'avant peu on affinera le cuivre noir, produit de l'extraction, à l'usine d'extraction même. Eu égard aux frais peu considérables de premier établissement d'un atelier d'extraction (procédés nouveaux), on se décidera peut-être à en établir un plus près de Sangerhausen et d'Eisleben, afin d'éviter les frais de transport des mattes de ces districts à l'usine de Gottesbelohnung. Au reste, cette discussion des conditions générales des usines du Mansfeld ne saurait entrer dans le cadre d'une notice uniquement destinée à faire connaître l'ensemble du traitement actuellement suivi dans ce pays.

BULLETIN.

La Commission des Annales des mines publiera à l'avenir sous ce titre les nouvelles et les renseignements intéressant l'art des mines et les industries qui s'y rapportent. Ce bulletin sera simplement un répertoire de faits, extraits surtout des communications adressées à M. le ministre des affaires étrangères par MM. les agents diplomatiques et consulaires. Il paraîtra à la fin de chaque semestre, mais les documents auxquels il importerait de donner une prompte publicité seront insérés immédiatement dans la plus prochaine livraison.

Sur la production du cuivre en Russie.

Les usines de cuivre que possède la Russie sont réparties entre l'Oural, l'Altaï, le Caucase et la Finlande. La production annuelle de la fonte y est, savoir :

Usines appartenant à la couronne. . .	16.000 pouds.
Usines de Perm.	15.000
Usines de Bogosloff.	15.000
Usines de l'Altaï.	16.000
Total.	47.000

Usines possédées par des particuliers.

Usines de Perm.	90.000
Usines de Tahil.	60.000
Usines voisines des précédentes. . . .	10.000
Usines de Finlande.	12.000
Usines du Caucase.	3.000
Total. . . .	175.000

On peut donc évaluer à 220.000 pouds la quantité an-

nuelle du cuivre qui s'exploite en Russie. Elle peut monter à plus de 330.000 pouds, si le produit des usines de Tahil se soutient à l'avenir dans la même proportion qu'en 1848.

Durant la période de 1845-1847, l'exportation du cuivre hors de Russie a éte comme suit :

Commerce avec	l'Europe,	l'Asie.	Total (pouds)
En 1845.	73.792	9.171	82.993
En 1846.	119.105	7.541	126.645
En 1847.	126.101	7.012	133.113

La moyenne triennale de l'exportation s'est élevée à 114.240 pouds. En admettant comme prix moyen 9 roubles par poud la valeur du métal expédié peut être estimée à un million. L'exportation a lieu surtout pour la France, la Turquie et la Perse.

(*Renseignements émanés de M. le général de Castelbajac, ministre de France à Saint-Pétersbourg.* 1er *mai* 1851.)

Sur des recherches de Nickel au nord de Malaga.

Depuis quelques mois on s'occupe beaucoup à Malaga des richesses réelles ou prétendues renfermées dans les montagnes de Carratraca et Casarabonela, deux districts de cette province situés à 6 et 8 lieues au Nord de Malaga.

Cette recrudescence d'exploration a particulièrement pour objet la recherche du minerai de nickel. En même temps que des spéculateurs creusent des puits pour trouver les filons métalliques, d'autres cherchent les moyens d'étendre les applications de ce métal afin d'en assurer le débit.

Il paraît évident que les chercheurs du nickel auront le même sort que ceux qui, en 1843, avaient dirigé leurs spéculations sur le plomb argentifère des montagnes d'Almagrera; quelques-uns ayant des capitaux suffisants et les connaissances nécessaires, ont continué d'exercer cette industrie, tandis que l'immense majorité l'a abandonnée pour ne pas prolonger la perte occasionnée par le contingent annuel qu'ils étaient obligés de fournir. Il n'est presque pas d'ouvrier et de petit particulier qui n'ait été

et qui ne soit encore actionnaire d'une des mille compagnies qui se sont formées dans ce pays pour l'exploitation des mines, ce genre de propriété est d'autant plus répandu qu'on divise les actions de manière qu'elles ne coûtent, en général, pas plus de 5 à 6 francs par mois l'une.

(*Renseignements transmis par M. du Bouzet, consul de France à Malaga.* 30 *avril* 1851.)

Sur le commerce de l'anthracite en Pensylvanie.

L'État de Pensylvanie est le plus riche en charbon de toute l'Union américaine; la superficie de ses bassins houillers est de 15.437 milles quarrés environ, le tiers de la superficie du territoire entier.

Le bassin des anthracites est de 238.280 acres et divisé en trois régions, celle du Schuylkill, du Lehigh, du Wyoming, au Nord du comté de Luzerne.

L'anthracite, quoique découvert en 1793, n'a commencé à être sérieusement exploité et envoyé à Philadelphie qu'en 1820.

Les premiers anthracites furent expédiés du Lehigh; la région du Schuylkil ne commença à produire qu'en 1825; celle du Wyoming en 1827.

L'examen du tableau montre l'accroissement rapide de la consommation sous les tarifs protectionistes de 1828 et 1832, le ralentissement de cette progression sous les droits réduits de 1832, et l'état presque stationnaire de cette exploitation depuis 1847.

De 1826 à 1846, l'accroissement de la production du charbon en Pensylvanie a été de 5 654 p. 100, tandis qu'en Angleterre, pour la même période, elle n'a été que de 713 p. 100. Cette augmentation de l'exploitation des mines houillères porte presque entièrement sur les anthracites, car il n'avait été extrait que 650.000 tonneaux de charbon bitumineux, dont 420.000 livres aux environs de Pittsburg pour l'alimentation des nombreuses usines à vapeur de cette ville et les steamboats de l'Ohio.

L'usage de l'anthracite est aujourd'hui universellement

répandu sur le littoral de l'Atlantique; partout il a remplacé le charbon bitumineux. Sa supériorité dans les usines à gaz est un fait reconnu. Il s'enflamme plus lentement, il est vrai, et au début necessite un ventilateur; mais il n'a ni odeur ni fumée, et cette qualité lui a valu d'être exclusivement employé pour le chauffage des habitations. L'expérience a démontré que pour la marine à vapeur 100 tonnes d'anthracite équivalent à 144 de charbon bitumineux sous un volume moindre d'un septieme.

Les débouchés ouverts aux anthracites sont :

Pour ceux du Schuylkill, le canal de Schuylkill et le Reading rail road, le premier d'un parcours de 107 milles et le second de 91;

Pour ceux du Lehigh, le canal du Lehigh long de 111 milles, celui de la Delaware, 60 milles;

Pour ceux du Wyonning, Delaware et Hudson-canal 107 1/2 milles de longueur.

Des ramifications se multipliant chaque jour viennent s'embrancher aux principales artères et forment aujourd'hui un total de 563 1/2 milles de canaux et 255 milles de chemins de fer. La vie nouvelle apportée à ces contrées naguère sauvages a doublé en quinze ans la population de la vallée du Schuylkill. Partout aux environs les terres se défrichent, des villes s'élèvent comme par enchantement et un courant d'affaires incroyable à qui ne connaîtrait pas le caractère américain, a déjà élevé le prix des terrains de 1f,50 l'acre, à 80, 100 et même 150 dollars, dans quelques localités.

Mais le tarif de 1846 est venu arrêter cet immense développement de l'exploitation houillère de la Pensylvanie en portant un coup mortel à l'industrie métallurgique de cet État, industrie qui, privée de la protection qui venait de lui être accordée, ne pouvait continuer plus longtemps, avec les désavantages de l'inexpérience, du haut prix de la main-d'œuvre et de la rareté des capitaux, la lutte contre la concurrence anglaise.

Néanmoins, de toutes les branches du commerce de la Pensylvanie et même des États-Unis, celle des anthracites promet le plus vaste avenir, à l'abri de toutes les éventualités de tarif et de guerre. L'espérance d'une prospérité prochaine soutient seule et stimule une incroyable activité dans l'ouverture de nouvelles voies de transport. Aujour-

d'hui, la presque totalité des charbons est consommée sur le littoral de l'Atlantique à Philadelphie, Boston, New-York et Baltimore; tous les chemins et canaux sont dirigés vers l'Est. Mais bientôt la branche Nord de la Susquehanna sera entièrement canalisée et facilitera l'entrée des lacs Érié et Ontario, par Elmira, dans l'État de New-York; on pousse avec vigueur les travaux du chemin de fer de Pittsburg et l'achèvement du rail-road de Sumburg partant de Pottsville et longeant la branche Ouest de la Susquehanna : l'immense et incalculable débouché de l'Ouest par les lacs et les grands fleuves sera ouvert alors aux anthracites. D'un autre côté, la région du Lehigh pour obvier aux glaces qui obstruent les canaux et arrêtent les expéditions pendant six mois de l'année, a conçu le hardi projet de faire franchir les montagnes Bleues par un chemin de fer qui la reliera directement à New-York; ce rail-road se rattachera, à Williamsport, à la ligne de Pottsville, l'une des deux grandes artères qui, dans peu, ouvrira une ère nouvelle pour la prospérité de Philadelphie en lui attirant le commerce de l'Ouest aujourd'hui presque entièrement accaparé par New-York.

Tableau du commerce d'anthracite de la Pensylvanie, 1820-49.

Années.	Nombre de tonnes.	Années.	Nombre de tonnes.	Années.	Nombre de tonnes.
1820	365	1830	152.924	1840	[illegible]
1821	1.073	1831	214.000	1841	851.000
1822	2.240	1832	294.050	1842	[illegible]
1823	5.823	1833	425.000	1843	1.312.000
1824	9.541	1834	594.986	1844	1.631.000
1825	35.520	1835	620.750	1845	[illegible]
1826	42.545	1836	690.547	1846	2.343.000
1827	60.315	1837	664.176	1847	2.952 000
1828	72.802	1838	712.196	1848	[illegible]
1829	107.815	1839	782.450	1849	3.200.000

(*Extrait d'une lettre adressé à M. le ministre des affaires étrangères, par M. de Vernon, gérant du consulat de France à Philadelphie*, 18 *juillet* 1851.)

Note sur la découverte d'un gisement de charbon minéral en Sardaigne.

Ce gîte est situé dans le canton de Goneza, province d'Iglisias, à l'Est de Cagliari, à 4 kilomètres de la mer. Dans l'état actuel de la navigation, les bateaux à vapeur qui croisent dans la Méditerranée se pourvoient de charbon anglais dont le prix ordinaire est de 30 à 35 francs la tonne, et le gouvernement français l'a payé jusqu'à 52 fr rendu au magasin à Cagliari. On comprend tout l'avenir d'une mine de charbon qui assurerait non-seulement l'approvisionnement de tous les navires à vapeur, mais encore toute la fourniture des côtes de l'Italie et du Levant, soit pour la navigation, soit pour l'éclairage au gaz, et le service des industries diverses qui emploient la vapeur comme moteur.

Nul doute donc sur l'importance de la découverte si la qualité du charbon est reconnue pouvoir rendre les mêmes services que le charbon anglais Le gouvernement sarde, appréciant tous les avantages qu'offrirait cette découverte, a ordonné des expériences, et une commission présidée par M. le général de La Marmora a fait deux épreuves à bord d'un bateau à vapeur de l'État, *la Gulnara*.

La commission a d'abord constaté que ce charbon était menu, peu collant, terreux et ayant un poids spécifique plus considérable que le charbon anglais ; mais on conçoit parfaitement que le charbon extrait des premières couches superficielles peut être moins bon que celui qu'on obtiendra des couches plus profondes. La première expérience était faite dans de mauvaises conditions; son résultat a été cependant passable, quoiqu'on ait constaté qu'il laissait beaucoup de crasse et de scories dans les grilles, et qu'il ne produisait pas autant de chaleur que le charbon anglais.

Une seconde expérience faite à bord du même bateau a été plus heureuse, et *la Gulnara* a marché avec la même vitesse qu'avec le charbon anglais. Elle a même pris à la remorque un navire de 102 tonneaux d'une forme fort défectueuse, et l'a conduit en mer malgré un vent contraire. La vitesse n'a pas été différé sensiblement de celle du navire chauffé avec du charbon anglais.

Il a été estimé par les mécaniciens anglais employés à bord de *la Gulnara*, d'une qualité égale au charbon du pays de Galles. L'expérience a donc été concluante sous le rapport de l'utilité de ce combustible pour les machines à vapeur. Il pourra être employé encore à bord des bateaux à vapeur pour les voyages peu longs et en prenant quelques soins de plus pour le nettoyage des grilles. Il est donc même dans l'état actuel, d'une immense utilité; et on a l'espoir fondé que sa qualité s'améliorera en profondeur.

M. Abbène, chimiste à Turin, et M. Rossi, major du génie, en ont donné l'analyse suivante :

Carbone.	59,98
Hydrogène.	4,75
Oxygène et azote. . . .	29,42
Cendres.	5,85
	100,00 (1)

D'après M. Rossi, le charbon peut être réduit en coke.

Le gisement de combustible est dans une position fort avantageuse pour la navigation, puisqu'il se trouve peu éloigné du golfe de Palmas et de la rade de Cacloforte, à 2 kilomètres de la petite baie de Paglia. On a trouvé les indices du charbon depuis le cap Teulada jusqu'au cap della Frasca, c'est-à dire dans toute la côte Sud-Ouest de la Sardaigne.

(1) Un échantillon, transmis à M. le ministre des travaux publics par M. le chargé d'affaires de France à Turin, a été analysé au bureau d'essai de l'École des mines. Voici l'extrait des registres du bureau relatif à cet essai.

Houille noire, schisteuse et pyriteuse. — Coke pulvérulent. — Cendres très-ferrugineuses.

Matières volatiles.	0,50
Carbone fixe.	0,44
Cendres.	0,06
	1,00

Composition des cendres.

Argile.	0,090
Peroxyde de fer.	0,597
Chaux.	0,300
Magnésie.	0,010
	0,997

Le charbon serait du reste en général, d'après l'auteur de l'envoi, de meilleure qualité que l'échantillon. C.

La position centrale de la Sardaigne, la sécurité de deux points où les navires pourront charger, rendraient cette découverte d'un intérêt, je dirai presque européen; car dans l'état actuel, tout le Levant, toute l'Italie se sert du charbon anglais, et le succès de ces exploitations sera certain, la vente assurée, si un bon service et l'emploi de ce charbon à bord des vapeurs vient confirmer les espérances exprimées par les chimistes qui ont fait l'analyse de ce combustible.

(*Extrait du rapport adressé à M. le ministre des affaires étrangères, par M. Aludenize, consul à Cagliari.*)

JURISPRUDENCE DES MINES,

USINES, ETC.

De la compétence pour le jugement des contraventions en matière de mines, minières, carrières et usines métallurgiques.

Par M. DE BOUREUILLE,
Ingénieur en chef, chef de la division des mines.

Les lois pour être obéies doivent avoir une sanction : cette sanction, c'est la peine dont se rendent passibles ceux qui les enfreignent. Il importe donc au plus haut degré, pour la bonne et sincère exécution des lois, que les peines qu'elles prononcent soient parfaitement connues de tous ; qu'il ne puisse s'élever aucun doute ni sur la nature de ces peines ni sur la qualité du juge chargé de les appliquer.

Malheureusement ce caractère si essentiel ne se retrouve pas toujours dans les lois, et de là des incertitudes, des embarras qui, en paralysant la répression, tournent, en définitive, au détriment de la société que le législateur avait en vue de protéger.

La loi du 21 avril 1810 sur les mines, qui a été à juste titre considérée comme l'un des monuments de la législation de l'Empire, nous offre néanmoins un exemple de ce défaut de précision, toujours si regrettable, dans le libellé des peines édictées contre les infractions dont elle pouvait devenir l'objet. Cette loi s'applique non-seulement aux mines proprement dites, mais encore aux minières, aux carrières et aux usines métallurgiques. Après avoir défini dans ses titres I à IX les dispositions applicables à chacune de ces catégories, elle détermine dans le titre X les règles relatives à la poursuite et à la répression des contraventions ; ce titre porte en intitulé : *De la police et de la juridiction relatives aux mines* ;

Puis l'article 93 stipule en ces termes :

« *Les contraventions des propriétaires de mines, exploi-*
» *tants non encore concessionnaires ou autres personnes,*

... *seront dénoncées et constatées* ... *ions en matière de voirie ou de* ...

La positi... deux point... cette déci... cat dans ... du char... certain ... charbi... expri... com... ...aux procureurs impériaux la mission ...e les contrevenants devant les tribu... ...rectionnelle, et enfin l'article 96 pro... ...contrevenants une amende de cinq cents ...et cent francs au moins, double en cas de ...une détention qui ne peut excéder la durée ...ode de police correctionnelle.

...93, il faut le reconnaître, est rédigé en termes ...peu précis, et l'on conçoit que ces termes aient ...de l'incertitude sur la question de savoir quelles ...de contraventions ledit article avait entendu comprendre.

...ur les mines proprement dites, aucun doute ne peut ...ver sur la juridiction qui doit connaître des contraventions : ces contraventions, aux termes de l'article 93 ...la loi, sont justiciables de la police correctionnelle, quels qu'en soient les auteurs, concessionnaires ou exploitants non concessionnaires, et quelle que soit la nature des contraventions commises.

Toutefois quelques personnes se référant à l'article 50 de la loi ainsi conçu : « *Si l'exploitation compromet la* » *sûreté publique, la conservation des puits, la solidité* » *des travaux, la sûreté des ouvriers mineurs ou des ha-* » *bitations de la surface, il y sera pourvu par le préfet,* » *ainsi qu'il est pratiqué en matière de grande voirie et* » *selon les lois,* » avaient cru pouvoir conclure, des termes de cet article, qu'il attribuait juridiction aux conseils de préfecture pour connaître des contraventions qui portent atteinte à la solidité des travaux et à la sûreté des personnes : mais il est facile de voir que cette opinion n'était que le résultat d'une fausse interprétation de l'article dont il s'agit : qu'avait voulu, qu'avait dû vouloir le législateur ? Que si un danger imminent pour la sûreté des hommes et des choses, pour la conservation des travaux de la mine elle-même venait à se présenter, l'autorité administrative pût y obvier par des mesures immédiates, ainsi qu'elle le fait pour préserver le domaine de la grande voirie des atteintes qui le menacent, et remédier au dommage qu'il a pu éprouver : l'on conçoit, en effet, qu'il y a là un grand intérêt de sûreté publique auquel il

ait donner au préfet le moyen de pourvoir ; mais entre cette faculté donnée au préfet, et l'attribution aux tribunaux administratifs pour le jugement des contraventions, il n'y a et ne peut y avoir aucune analogie : l'article 50 d'abord ne suppose pas nécessairement que le danger que l'exploitation vient à présenter pour la sûreté publique soit le résultat d'une contravention, et ensuite en admettant que ce fût à une contravention que le mal dût être attribué, l'on ne comprendrait pas que par une exception que rien ne justifie d'ailleurs, un fait pouvant porter atteinte à la sûreté des personnes eût été déféré par le législateur aux tribunaux administratifs, qui ne prononcent que des condamnations pécuniaires, tandis que, d'après notre système général de législation, les délits contre les personnes peuvent entraîner des peines corporelles.

Une semblable dérogation aux principes, si elle eût été dans la pensée du législateur, eût dû être explicitement exprimée, et, comme on l'a vu, l'article 50 au lieu de se prêter à cette conséquence, l'exclut au contraire formellement. Au surplus, la Cour de cassation, dans un arrêt récent du 29 août dernier, a pleinement résolu la question dans le sens que nous venons d'indiquer; cette cour avait à apprécier la portée de l'un des articles d'une ordonnance royale portant règlement pour les carrières de la Charente, qui attribuait aux conseils de préfecture, *par application des articles* 50 *et* 82 *de la loi de* 1810, les contraventions ayant pour effet soit de porter atteinte à la solidité des travaux, soit de compromettre la sûreté publique, la sûreté des ouvriers; elle a déclaré que cet article, par son libellé même, n'avait entendu que reproduire les principes de compétence résultant de la législation existante : qu'en effet c'est en partant de ce point « *que les* » *articles* 50 *et* 82 *attribuaient juridiction aux conseils de* » *préfecture pour connaître des contraventions qui portent* » *atteinte à la solidité des travaux et à la sûreté des per-* » *sonnes,* » que l'article ci-dessus de l'ordonnance précitée prescrit pour ces cas la compétence administrative, mais que cette supposition manque d'exactitude, parce que l'article 50 auquel renvoie l'article 82 ne parle de grande voirie en matière de mines qu'en ce qui concerne les mesures de précautions à prendre par les préfets, tandis que pour la répression des contraventions la compétence judiciaire est formellement écrite dans l'article 95.

Ainsi il demeure bien établi que toutes les contraventions commises par les concessionnaires de mines, même celles qui auraient pour effet d'enfreindre des décisions prises par le préfet comme en matière de grande voirie, en vertu de l'article 50 de la loi du 21 avril 1810, sont justiciables des tribunaux correctionnels.

Mais ici vient se placer une question plus délicate, et sur laquelle nous ne sachons pas qu'il soit encore intervenu de solution judiciaire; cette question, la voici : les règlements sur les mines, et à défaut de ces règlements, les actes de concessions contiennent des clauses ayant pour objet de protéger les routes, canaux, chemins de fer dépendant de la grande voirie : en vertu de ces règlements ou actes de concessions, les préfets sont quelquefois appelés à prendre, dans l'intérêt de ces voies de communication et dans celui des personnes qui en usent, des mesures de précaution qu'ils rendent obligatoires pour les concessionnaires ou exploitants de mines. Si ces mesures ne sont pas exécutées, les contraventions qui seront constatées à la charge des concessionnaires ou exploitants sont-elles justiciables des tribunaux correctionnels ou des tribunaux administratifs? Pour résoudre cette difficulté, il suffit ce semble de se référer au but qu'il s'agit d'atteindre et que le législateur a dû se proposer; dans le cas le plus général, l'on veut pourvoir à la sûreté des habitations de la surface, à la solidité des travaux, à la sûreté des ouvriers, etc., c'est le droit commun; les tribunaux correctionnels sont seuls compétents. Dans le cas particulier que nous considérons en ce moment, deux intérêts sont compromis en même temps : celui de la grande voirie, que les tribunaux administratifs ont pour mission spéciale de protéger; celui des personnes qui empruntent la route, le canal ou le chemin de fer : sous ce second point de vue, il peut y avoir lieu à l'application d'une peine corporelle, et par suite les tribunaux correctionnels doivent être appelés en même temps à connaître de la contravention. La double action peut être simultanément exercée sans qu'il y ait violation de la maxime *non bis in idem*, et dans les circonstances graves, en cas de récidive surtout, nous pensons que MM. les préfets et MM. les ingénieurs des mines ne devraient pas hésiter à y recourir.

Il ne faudrait pas croire d'ailleurs que la solution que

nous indiquons soit une innovation dans notre législation criminelle : en matière de police de roulage, sous l'empire de l'ancienne législation qui assujettissait les voitures publiques à une limitation de poids en raison de la largeur des jantes de leurs roues, les entrepreneurs de ces voitures pouvaient être, en cas de contravention pour excès de chargement, condamnés à la fois par le conseil de préfecture pour dommage causé à la route, et par les tribunaux de police pour le danger qu'ils faisaient courir à la sûreté des personnes. Il y avait là deux violations bien distinctes de la loi, et par suite la répression devait être double aussi : cette doctrine a été consacrée par divers arrêts du conseil d'État, et nous la regardons comme hors de toute contestation ; elle trouverait sa juste et régulière application en matière de mines, lorsque les contraventions commises par les exploitants compromettraient à la fois le domaine de la grande voirie et la sûreté publique intéressée à la conservation de ce domaine.

La compétence des tribunaux correctionnels ainsi bien établie pour les contraventions commises en matière de mines proprement dites, il s'agit de savoir si la même juridiction doit s'appliquer aux contraventions en matière de minières, de carrières et d'usines métallurgiques.

Quant aux minières, elles ont été généralement assimilées aux mines en ce qui touche la police de leur exploitation, et sur aucun point du territoire il n'a été fait aux contrevenants en cette nature, au moins que nous sachions, application d'une autre pénalité que celle qui est réglée par le titre X de la loi du 21 avril 1810.

Mais il n'en est pas de même soit pour les carrières, soit pour les usines métallurgiques ; la jurisprudence s'est très-souvent divisée sur le mode à suivre pour la répression des contraventions qui les concernent : ici on a appliqué le titre pénal de la loi de 1810 ; là, pour les carrières par exemple, on a renvoyé aux tribunaux administratifs le jugement des contraventions : ailleurs c'est le tribunal de simple police qui a été appelé à statuer sur les procès-verbaux.

En ce qui concerne les carrières, la confusion que nous signalons dans la jurisprudence est née principalement du décret du 22 mars 1813, approbatif d'un règlement général qui concernait seulement les départements de la Seine et de Seine-et-Oise, et qui attribuait aux Conseils

de préfecture le jugement des contraventions commises soit à ce règlement général, soit aux règlements particuliers qui pourraient en dériver : de plus, l'article 2 de ce décret autorisait le ministre de l'intérieur à en rendre les dispositions applicables dans toutes les localités où le nombre et l'importance des carrières exploitées pouvaient en faire sentir la nécessité.

Une seule application complète de cette clause a été faite au département de Seine-et-Marne par une décision ministérielle du 5 avril 1822, mais pour plusieurs autres départements, l'administration en faisant, non plus en vertu du décret de 1813, mais en vertu du droit général qu'elle tient de la loi, des règlements généraux et particuliers, s'est référée encore à l'article 31 dudit décret pour régler les pénalités applicables à une partie des contraventions : toutes celles de ces contraventions qui intéressent soit la sûreté publique et celle des habitations de la surface, soit la solidité des travaux sont renvoyées aux conseils de préfecture, conformément, a-t-on dit, à l'article 31 ci-dessus rappelé, et par suite de *cette fausse* interprétation de l'article 50 de la loi du *21 avril 1810 si* justement combattue et réfutée par la Cour de cassation.

Toutes les autres contraventions sont laissées au jugement des tribunaux correctionnels, conformément au titre X de la loi de 1810, de telle sorte qu'en définitive il y a des départements où toutes les contraventions en matière de carrières sont jugées administrativement, d'autres où les unes sont jugées administrativement, les autres par les tribunaux ordinaires et d'autres départements enfin où toutes les contraventions sont jugées par les tribunaux ordinaires.

Mais pour les carrières, une autre difficulté s'est présentée ; la loi du 21 avril 1810 les distingue pour le régime auquel elles sont soumises, en carrières souterraines et en carrières à ciel ouvert : par son article 81, elle déclare que ces dernières s'exploitent sans permission sous la simple surveillance de la police et avec l'observation des lois et règlements généraux et locaux ; puis, par son article 82, elle stipule que les carrières souterraines sont soumises à la surveillance de l'administration, comme les mines proprement dites : que devait-il résulter de cette distinction entre les carrières souterraines et les carrières à ciel ouvert, quant à la poursuite et à la répression des

contraventions? En admettant pour les carrières souterraines la juridiction correctionnelle, sauf bien entendu les exceptions consacrées par le décret du 22 mars 1813, la même juridiction devait-elle s'appliquer aux carrières à ciel ouvert, ou bien celles-ci ne devaient-elles donner lieu qu'à des poursuites devant les tribunaux de simple police? L'administration des mines a toujours soutenu le premier système, mais la Cour de cassation, dans un arrêt récent auquel nous avons déjà fait allusion dans ce qui précède, a adopté le système contraire, attendu, dit l'arrêt, que la loi du 21 avril 1810 en laissant les carrières à ciel ouvert sous la simple surveillance de la police, et l'observation des règlements généraux et locaux, les place implicitement sous la juridiction et la pénalité de simple police : nous devons reconnaître en effet que, dans notre système de législation pénale, à moins d'une disposition de loi expresse et spéciale, tous les manquements à des règlements soit généraux soit locaux légalement faits par l'autorité administrative sont purement passibles de peine de simple police, et comme l'article 81 de la loi semble donner aux administrateurs locaux, aux maires par conséquent, le droit de faire des règlements pour l'exploitation des carrières à ciel ouvert, il y aurait peut-être quelque chose d'excessif à frapper d'une peine correctionnelle les contraventions à ces règlements; mais d'un autre côté, il ne paraît pas non plus que les termes mêmes de la loi de 1810 doivent absolument s'entendre en ce sens qu'ils excluent la juridiction appelée à statuer sur toutes les autres contraventions à cette loi; les règlements soit généraux soit locaux prévus par l'article 81 peuvent être considérés comme une émanation de la loi elle-même, et par suite l'on pourrait dire que les contraventions à ces règlements sont des contraventions à la loi et comme telles passibles des peines qu'elle édicte dans son titre X. Il faut dire d'ailleurs que les contraventions en matière de carrières à ciel ouvert sont souvent aussi graves, plus graves même, au point de vue de la sûreté publique, que les contraventions en matière de carrières souterraines, et l'on ne voit pas dès lors au fond pourquoi des peines différentes leur seraient appliquées.

Ces considérations nous paraissent mériter une sérieuse attention, et nous pensons que l'administration ne doit pas regarder la question dont il s'agit comme définitivement

jugée, d'autant plus que ce n'est qu'indirectement qu'elle a été résolue par l'arrêt ci-dessus rappelé de la Cour de cassation.

Cette cour reconnaît d'ailleurs formellement, comme l'a toujours pensé l'administration elle-même, que la pénalité du titre X de la loi du 21 avril 1810 s'applique non-seulement aux mines, mais encore aux minières, aux carrières souterraines, aux forges, fourneaux et usines, et à l'appui de sa doctrine, qui est aussi la nôtre, nous ne pouvons mieux faire que de citer les considérants de son arrêt :

« Attendu, dit cet arrêt, que la loi du 21 avril 1810 » assimile aux mines les carrières exploitées par galeries » souterraines, en renvoyant (article 82) pour la police de » ces carrières au titre V qui détermine le mode de surveil- » lance que l'administration centrale et l'administration » préfectorale doivent exercer sur les mines, ou les mesures » de précaution que les préfets sont autorisés à prendre » comme en matière de grande voirie dans les cas où la » solidité des travaux et la sécurité des ouvriers ou des » habitations de la surface peuvent être compromises ;

» Qu'elle établit ensuite par son titre X une peine d'a- » mende de 100 à 500 francs en cas de contravention et » la compétence correctionnelle ;

» Attendu que si ce titre a pour intitulé : « *De la police* » *et de la juridiction relatives aux mines* », cette dernière » expression n'est qu'énonciative et n'empêche pas que ce » titre qui forme le complément de la loi ne comprenne, » comme il était raisonnable qu'il le fît, toutes les exploi- » tations auxquelles la loi s'applique, aussi bien celles » des minières, forges, fourneaux et usines dont parle » le titre VII, et des carrières souterraines dont parle le » titre VIII, que celles des mines dont il est traité dans » les titres de II à VI, que, sans cette extension, une » grande partie des contraventions serait restée sans au- » cune sanction pénale déterminée ;

» Attendu que le texte même de l'article 93 exclut la » supposition de cette anomalie; que par ces mots « *les* » *contraventions des propriétaires de mines, exploitants* » *non encore concessionnaires ou autres personnes, aux* » *lois et règlements....* », cet article renferme virtuelle- » ment toutes les personnes qui sont en contravention aux » lois et règlements sur les matières que cette loi a pour

» objet de régler, et par conséquent celles qui exploitent
» des minières ou des carrières souterraines aussi bien
» que les propriétaires de mines proprement dites;

» Qu'ainsi les articles 95 sur la compétence, et 96 sur
» la pénalité, sont applicables aux uns comme aux
» autres. »

Nous n'avons évidemment rien à ajouter aux considérations qui précèdent, et nous devons regarder comme désormais hors de toute contestation la compétence correctionnelle pour les contraventions commises, non-seulement en matière de mines, mais encore en matière de minières, de carrières souterraines et d'usines métallurgiques.

Il reste toutefois à examiner, dans cet état de la question, ce que deviennent le décret du 22 mars 1813, relatif aux départements de la Seine et de Seine-et-Oise, qui a attribué aux Conseils de préfecture les contraventions aux règlements sur les carrières de ces départements, et les ordonnances portant règlement pour les carrières de divers autres départements, qui ont également admis la compétence des tribunaux administratifs pour les contraventions intéressant la sûreté des ouvriers, celle des habitations de la surface et la solidité des travaux.

Quant au décret du 22 mars 1813, il nous paraît avoir tous les caractères d'un acte législatif, et dès lors il doit être considéré comme ayant dérogé, pour les départements de la Seine et de Seine-et-Oise, au droit commun créé par la loi du 21 avril 1810.

La cour de cassation adopte aussi cette manière de voir, mais elle repousse les conséquences que l'on voudrait en déduire pour étendre à d'autres départements la juridiction administrative en matière de carrières souterraines : suivant cette Cour, l'administration aurait pu tout au plus s'appuyer, pour la sanction de cette doctrine, sur la délégation conférée au ministre de l'intérieur par l'article 2 du décret du 22 mars 1813, mais cette délégation a cessé d'exister depuis l'institution du régime constitutionnel. Nous citons textuellement les considérants invoqués par la Cour à l'appui de la jurisprudence que son arrêt tend à consacrer :

« Attendu que si l'article 31 du règlement général sur
» l'exploitation des carrières, platrières, glaisières dans les
» départements de la Seine et de Seine-et-Oise, approuvé

» par le décret du 22 mars 1813, renvoie aux Conseils de » préfecture les contraventions aux dispositions qu'il éta- » blit, et si on retrouve la même prescription dans l'ar- » ticle 31 du règlement concernant l'exploitation des car- » rières de pierre à bâtir dans les mêmes départements, » approuvé par le décret du 4 juillet même année, cette » dérogation aux principes, établie seulement pour deux » départements, reste étrangère aux autres localités;

» Attendu que l'ordonnance du 30 juillet 1838, qui a » légalement réglementé le mode d'exploitation des car- » rières de....., n'a pu modifier les règles de compétence » résultant de la législation antérieure. »

« Que si l'article 2 du décret précité du 22 mars 1813, » reproduit dans l'article 4 du décret approbatif du 4 juil- » let suivant, porte : *les dispositions dudit règlement » pourront être rendues applicables dans toutes les localités » où le nombre et l'importance des carrières exploitées en » rendront l'exécution nécessaire, et ce en vertu d'une dé- » cision spéciale de notre ministre de l'intérieur sur la de- » mande des préfets, et le rapport du Directeur général » des mines;* » et si l'ordonnance du 30 juillet 1838 dis- » pose, article 33 : *les contraventions au présent règlement » qui seront commises par les propriétaires, par les exploi- » tants ou par toute autre personne. ..* , *qui auront pour » effet, soit de porter atteinte à la solidité des travaux des » carrières, soit de compromettre la sûreté publique, la » sûreté des ouvriers ...., seront poursuivies par voie ad- » ministrative, conformément à ce qui est prescrit par les » articles 50 et 82 de la loi sur les carrières et mines, du » 21 avril 1810, par l'article 31 du règlement général sur » les carrières du 22 mars 1813, ainsi que par la loi du » 29 floréal an X......., il sera statué définitivement au » conseil de préfecture :* il est à remarquer que l'ordon- » nance ne se fonde point, pour établir la compétence » administrative, sur la délégation ou réserve contenue » en l'article 2 du décret de 1813, qu'au lieu de déclarer » applicable aux carrières de...... le règlement approuvé » par ce décret, elle dispose à nouveau en termes plus ou » moins différents; que d'ailleurs une semblable déléga- » tion en vertu de laquelle un arrêté ministériel était au- » torisé à changer la pénalité et l'ordre de juridiction, n'a » pu survivre à l'établissement du régime constitutionnel,

» qui a consacré la séparation entre le pouvoir exécutif et » le pouvoir législatif. »

Il suit de là qu'à l'avenir, dans tous les départements où existent des règlements spéciaux pour les carrières, les contraventions à ces règlements doivent être déférées aux tribunaux correctionnels, conformément au titre X de la loi du 21 avril 1810, encore bien que lesdits règlements contiennent une clause semblable à celle qui est rappelée dans l'arrêt ci-dessus de la Cour de cassation; l'intervention des tribunaux en cette matière paraît d'ailleurs devoir assurer la bonne et stricte exécution des règlements d'une manière au moins aussi efficace que celle des conseils de préfecture, et il ne peut y avoir pour l'administration aucun motif de la décliner.

Un dernier mot sur ce qui concerne les usines métallurgiques; pour ces usines, des doutes s'étaient élevés dans quelques esprits à raison de l'article 77 de la loi du 21 avril 1810, ainsi conçu:

« *En cas de contraventions commises « par les permis- » sionnaires d'usines, » le procès-verbal dressé par les au- » torités compétentes sera remis au procureur impérial, » lequel poursuivra la révocation de la permission, s'il y » a lieu, et l'application des lois pénales qui y sont re- » latives.* »

Quelques personnes avaient cru pouvoir conclure de cette clause que la loi avait entendu créer un régime particulier pour les usines, et ne pas les assujettir à la juridiction instituée par le titre X. C'était là une erreur : si la loi a, en ce qui touche les usines, parlé de diverses lois pénales relatives aux contraventions, c'est parce qu'en général l'établissement d'une usine exige l'application de lois et de règlements divers dont l'exécution est garantie par des juridictions et des pénalités différentes.

Ainsi, toutes les usines exigent l'emploi d'un moteur : ce moteur peut être, il est même le plus souvent un cours d'eau : d'autres fois c'est une machine à vapeur. Dans l'un comme dans l'autre cas il y a lieu d'appliquer la législation spéciale, soit aux cours d'eau, soit aux machines à vapeur, et de poursuivre, conformément à cette législation, les contraventions qui s'y rapporteraient.

De même et dans une foule de cas, des usines ont affaire, soit à l'administration forestière, soit à l'adminis-

tration des douanes, et il est encore évident que si des contraventions se commettent contre les lois ou les règlements relatifs aux forêts ou aux douanes, c'est la législation pénale en ces matières qui doit être appliquée.

Mais quant aux infractions spéciales à l'usine métallurgique proprement dite, à celles qu'il appartient plus particulièrement à l'ingénieur des mines de constater, elles rentrent naturellement sous l'application du titre X de la loi du 21 avril 1810 : nous croyons inutile d'insister plus longuement sur cette démonstration.

Comme nous l'avons dit plus haut, la plupart des usines métallurgiques sont mises en mouvement par des moteurs hydrauliques : le plus grand nombre des contraventions que les usiniers peuvent être amenés à commettre, doit porter en conséquence sur les règlements relatifs aux cours d'eau; nous avons été par là conduits à rechercher quelles sont les lois pénales applicables en cette matière.

Avant le Code pénal de 1810, la loi du 6 octobre 1791, titre II, articles 15 et 16, était la seule que l'on pût invoquer pour la répression des contraventions en matière de règlement d'eau : ces articles étaient ainsi conçus :

Art. 15. *Personne ne pourra inonder l'héritage de son voisin, ni lui transmettre volontairement les eaux d'une manière nuisible, sous peine de payer le dommage et une amende qui ne pourra excéder la somme du dédommagement.*

Art. 16. *Les propriétaires ou fermiers des moulins et usines construits ou à construire, seront garants de tous dommages que les eaux pourraient causer aux chemins ou aux propriétés voisines, par la trop grande élévation du déversoir ou autrement. Ils seront forcés de tenir les eaux à une hauteur qui ne nuise à personne, et qui sera fixée par le directoire du département, d'après l'avis du directoire de district. En cas de contravention, la peine sera une amende qui ne pourra excéder la somme du dédommagement.*

Comme on le voit, les peines prononcées par la loi de 1791 n'étaient applicables que dans le cas où les contraventions étaient dommageables aux tiers; l'amende ne pouvait d'ailleurs excéder la somme du dédommagement, c'est-à-dire que si le dommage était nul, aucune amende ne pouvait être infligée en vertu de ladite loi.

Le Code pénal a maintenu le principe de la loi de 1791 :

par son article 457, il punit d'une amende qui ne peut excéder le quart des restitutions et des dommages-intérêts, ni être au-dessous de cinquante francs, les propriétaires ou fermiers, ou toute personne jouissant de moulins, usines ou étangs, qui, par l'élévation du déversoir de leurs eaux au-dessus de la hauteur déterminée par l'autorité compétente, inondent les chemins ou les propriétés d'autrui.

Il prononce en outre, dans le cas où il résulte du fait quelques dégradations, un emprisonnement de six jours à un mois.

On voit encore qu'il faut dommage causé aux tiers, ou inondation des propriétés d'autrui, pour prononcer une amende; ou inondation et dégradation pour qu'il y ait lieu, en outre de l'amende, à l'emprisonnement.

Dans tout autre cas, lorsqu'il y a simple contravention au règlement d'eau fait par l'autorité, la seule disposition de loi que l'on puisse invoquer contre le contrevenant, c'est l'article 471 du Code pénal, qui prononce une peine de 1 à 5 francs d'amende contre ceux qui contreviennent à des règlements légalement faits par l'autorité administrative, et en cas de récidive, un emprisonnement de trois jours au plus. Ces peines sont bien légères et elles ne doivent avoir que bien peu d'efficacité : aussi MM. les préfets se dispensent-ils le plus souvent d'y recourir, mais en même temps ils y suppléent par une mesure bien autrement efficace, la mise en chômage de l'usine.

Nous arrêterons ici cette discussion : nous avons cherché à faire ressortir aussi clairement et aussi succinctement que possible les principes et les règles qui, d'après l'état de la législation, doivent présider à la poursuite et à la répression des contraventions dans les matières placées spécialement sous la surveillance de MM. les ingénieurs des mines : si les détails que nous avons placés sous leurs yeux peuvent leur être de quelque utilité, nous aurons atteint le but que nous nous proposions.

Redevance due aux propriétaires du sol sur les produits des mines concédées; — Au gouvernement seul il appartient de régler cette redevance; par suite, l'autorité administrative est seule compétente pour connaître des contestations auxquelles peuvent donner lieu les conventions antérieures entre les parties. (Tribunal des conflits; arrêt du 5 novembre 1851.)

Le principe ci-dessus énoncé a déjà été consacré par des arrêts du Conseil d'État, dont il a été rendu compte dans les Annales des mines. (Voir 4e série, 1843, t. III, et 1846, t. IX.)

Le tribunal des conflits a eu récemment occasion de faire l'application de ce principe dans un nouveau débat qui s'est élevé entre des propriétaires de terrains et la compagnie concessionnaire des mines de houille de la Péronnière, département de la Loire.

Voici dans quelle circonstance est intervenu ce débat :

La compagnie des mines de la Péronnière, à l'époque où elle était en instance pour obtenir la concession de ces mines, avait fait, avec les sieurs Vincent et consorts, un traité par lequel ceux-ci lui cédaient la faculté d'opérer des recherches et d'extraire la houille dans leurs terrains, à la condition qu'elle leur payerait, tant pour ces extractions que pour les dommages causés à la surface, une redevance montant au dixième des produits.

Plus tard, l'ordonnance institutive de la concession, en date du 13 janvier 1842, a fixé, en exécution des articles 6 et 42 de la loi du 21 avril 1810, la redevance qui serait due aux divers propriétaires des terrains compris dans le périmètre concédé. Elle a adopté à cet égard le tarif en usage dans les mines de la Loire, en disposant que cette redevance consisterait en une rétribution proportionnelle aux produits de l'exploitation et calculée suivant la puissance et la profondeur des couches.

La même ordonnance a ajouté que les dispositions dudit tarif seraient applicables nonobstant les stipulations contraires qui pourraient résulter des conventions antérieures entre le concessionnaire et les propriétaires de la surface, ces conventions étant déclarées nulles et non avenues.

Enfin, elle a statué que le concessionnaire payerait en outre aux propriétaires les indemnités déterminées par les articles 43 et 44 de la loi précitée du 21 avril 1810, pour les dégâts et non-jouissance de terrains occasionnés par l'exploitation.

Malgré ces clauses qui définissaient clairement les obligations du concessionnaire et les droits des propriétaires du sol, les sieurs Vincent et consorts ont assigné en 1849 la compagnie de la Péronnière devant le tribunal civil de Saint-Étienne en payement d'une somme de 36.000 francs qu'ils prétendaient leur être due en raison de leur ancien traité.

La compagnie a excipé de son acte de concession qui annulait tous les contrats antérieurs, et elle a incidemment soutenu que l'autorité judiciaire était incompétente pour prononcer le litige.

Le tribunal a passé outre sur l'exception d'incompétence, et, par jugement du 29 août 1850, il a ordonné qu'avant faire droit au fond il serait procédé par des experts à la vérification des quantités de houille extraites depuis l'octroi de la concession et des prix auxquels la houille avait été vendue.

La compagnie a interjeté appel devant la Cour de Lyon.

De son côté, le préfet a proposé le déclinatoire; puis ce déclinatoire ayant été rejeté, il a pris, le 21 avril 1851, un arrêté de conflit.

C'est en cet état que l'affaire a été portée au tribunal des conflits.

Dans leurs moyens de défense, les sieurs Vincent et consorts se prévalaient de ce que la redevance stipulée dans leur traité comprenait à la fois sous un même chiffre la rétribution tréfoncière et l'indemnité relative à l'occupation du sol. Ce qu'ils demandaient, disaient-ils, c'était que la compagnie de la Péronnière fût tenue de leur payer à ce dernier titre, c'est-à dire pour les dommages causés à la surface, la somme formant la différence entre le chiffre porté au contrat et la redevance telle qu'elle avait été fixée par l'ordonnance de concession du 13 janvier 1842. Ils en concluaient que leur ancien traité devait être maintenu sous ce rapport, et que son exécution ressortissait de l'autorité judiciaire.

La Cour de Lyon avait elle-même admis ce système. Elle disait, dans les considérants de son arrêt de compétence, qu'il ne s'agissait pas d'interpréter l'ordonnance de concession, dont le texte ne présentait rien d'obscur, ni d'apprécier quelle influence cette ordonnance avait pu exercer sur la teneur des conventions existant antérieurement.

Mais, ainsi que le ministère des travaux publics l'a fait remarquer dans ses observations en réponse à la communication qui lui avait été donnée des pièces de l'affaire par le garde des sceaux, cette appréciation des effets du contrat ne pouvait avoir lieu de la part des tribunaux, sans qu'ils entrassent en même temps dans la discussion interprétative de la clause de l'ordonnance qui déclarait nulles et non avenues toutes les conventions antérieures; or cette discussion leur était interdite. La question réelle, dans la cause, était de savoir si, bien que l'acte de concession eût déterminé le taux de la redevance tréfoncière à payer aux propriétaires du sol, et énoncé comment seraient évaluées les indemnités dues pour *non-jouissance* et dégâts de terrain, les propriétaires pouvaient néanmoins faire revivre leurs anciennes conventions, sous prétexte qu'ils y avaient confondu en bloc ces deux espèces de rétributions, essentiellement différentes par leur nature. Il s'agissait donc, au fond, d'une interprétation de l'ordonnance de concession, interprétation qui est exclusivement du ressort de l'autorité administrative.

La loi du 21 avril 1810 a nettement distingué les trois sortes de rétributions que les concessionnaires de mines auraient à acquitter, indépendamment des redevances fixes et proportionnelles dues à l'État, et les trois sortes de juridictions qui seraient appelées à les régler.

Les indemnités relatives aux recherches et travaux opérés par des tiers antérieurement à la concession, et dont le concessionnaire vient à profiter, doivent, d'après l'article 46 de la loi, être déterminées par les conseils de préfecture.

Celles qui concernent l'occupation de terrains et les dommages occasionnés à la superficie sont, en vertu des articles 43 et 44, de la compétence des tribunaux ordinaires.

Enfin, aux termes des articles 6 et 42, le règlement des droits des propriétaires du sol sur les produits du

gîte concédé est réservé au gouvernement, qui fait ce règlement par l'acte même qui institue la concession de la mine.

Les parties ont la faculté de fixer entre elles à l'amiable les deux premières espèces d'indemnités, parce qu'il ne s'agit là que d'intérêts privés, sur lesquels il est, par conséquent, permis de transiger; mais il n'en est pas de même de la redevance tréfoncière : celle-ci est une condition inhérente à la concession, à la propriété nouvelle que crée cette concession, et devant durer autant qu'elle; la loi a dû vouloir et a voulu en effet, dans l'intérêt des exploitations, qui est intimement lié à l'intérêt public, que ce fût le gouvernement qui fixât cette redevance pour que ces exploitations ne se trouvassent pas grevées de charges qui, souvent, auraient pu être exorbitantes et nuire au développement des travaux, amener la ruine des entreprises, au grand détriment des consommateurs et de l'industrie. Ni les propriétaires du sol, ni les demandeurs en concession ne peuvent donc empiéter sur ce droit du gouvernement, et s'ils ont fait à cet égard entre eux des conventions particulières, il n'appartient qu'au pouvoir administratif de connaître de ces conventions, d'apprécier si les clauses qu'elles contiennent sont ou non compatibles avec les prescriptions de l'ordonnance ou du décret de concession.

C'est ce qui avait été décidé par les ordonnances ci-dessus rappelées, des 1er juin 1843 et 24 janvier 1846, rendues au contentieux dans des réclamations semblables à celles que nous venons de rapporter.

C'est également ce qu'a jugé dans l'espèce actuelle le tribunal des conflits par une décision du 5 novembre 1851, qui est ainsi conçue :

« Considérant que la demande des sieurs et dame Vin-
» cent et Jalabert, résultant de l'assignation du 20 no-
» vembre 1849, quels qu'en soient les motifs et quelles
» que soient les distinctions établies par les conclusions
» postérieures, tend à faire fixer au dixième des quan-
» tités de houille extraite, le taux de la redevance fixée
» à une quotité inférieure par l'ordonnance de con-
» cession;

» Qu'aux termes de l'article 6 de la loi du 21 avril 1810,
» il n'appartient qu'à l'autorité administrative de régler

» les droits des propriétaires de la surface sur le produit
» des mines concédées; que les demandes d'indemnité qui
» pourraient être formées à tout autre titre que celui des
» redevances, peuvent, suivant les causes invoquées,
» être de la compétence, soit de l'autorité judiciaire, soit
» de l'autorité administrative; mais qu'il n'y a lieu, d'a-
» près les motifs ci-dessus indiqués, de statuer dans l'es-
» pèce sur la compétence respective, à cet égard, de l'une
» ou de l'autre autorité, décide :

» *Art.* 1er. L'arrêté de conflit sus-visé est maintenu.

» *Art.* 2. Sont considérés comme non avenus l'acte
» d'assignation du 20 novembre 1849 et les conclusions
» postérieures, le jugement du tribunal de première in-
» stance de Saint-Étienne, du 20 août 1850, l'acte d'appel
» et l'arrêt de la Cour de Lyon, du 8 avril 1851.

» *Art.* 3. L'expédition de la présente décision sera
» adressée aux ministres de la justice et des travaux
» publics. »

LOIS, DÉCRETS ET ARRÊTÉS

CONCERNANT LES MINES, USINES, ETC.

DEUXIÈME SEMESTRE 1851.

Décret du Président de la République, en date du 17 juillet 1851 (1), qui modifie le tarif d'entrée du sable propre à la fabrication du verre et de la faïence.

Le Président de la République,

Sur le rapport du ministre de l'agriculture et du commerce;

Vu l'article 34 de la loi du 17 décembre 1814,

Décrète :

Art. 1er. Le tarif d'entrée du sable propre à la fabrication du verre et de la faïence est modifié et établi ainsi qu'il suit :

Sable à fabriquer le verre ou la faïence. . . 0f,01 par 100 kil.

Art. 2. Le ministre de l'agriculture et du commerce et le ministre des finances sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Décret du Président de la République, en date du 24 juillet 1851 (2), qui supprime le droit établi à la sortie de la craie.

Le Président de la République,

Sur le rapport du ministre de l'agriculture et du commerce;

(1) *Voir* ci-après, p. 747, la circulaire transmissive du 2 août 1851.
(2) *Voir* ci-après, p. 747, la circulaire transmissive du 2 août 1851.

Vu l'article 34 de la loi du 17 décembre 1814,

Décrète :

Art. 1er. Le droit de vingt-cinq centimes par cent kilogrammes établi à la sortie de la craie est supprimé.

Art. 2. Le ministre de l'agriculture et du commerce et le ministre des finances sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Droits de navigation sur les canaux de Berry et latéral à la Loire.

Décret du Président de la République, en date du 29 *juillet* 1851, *portant que le tarif des droits de navigation perçus sur les canaux de* Berry *et* latéral *à la Loire, de Digoin à Briare, est prorogé jusqu'au* 1er *décembre* 1851, *et que le même tarif continuera à être appliqué aux canaux de jonction ouverts à Decise et à Fourchambault, entre la Loire et le canal latéral* (1).

Mines d'antimoine d'Ersa.

Décret du Président de la République, en date du 9 *août* 1851, *qui accorde aux sieurs* Simon Giuria *et* Isidore-Charles-Martin Geoffroy *la concession des mines d'antimoine situées dans la commune d'*Ersa (Corse).

(Extrait.)

Art. 2. Cette concession, qui prendra le nom de *Concession des mines d'Ersa*, est limitée, conformément au plan annexé au présent décret, ainsi qu'il suit, savoir :

Au Nord, par une ligne brisée allant de l'angle nord-est de la maison de Piccini (Antoine), point B du plan, à l'angle sud-est de la chapelle Saint-Antoine, point C, et de ce point C au point culminant D du Mont-Serraggio.

A l'Est, par une ligne, en partie droite, allant du point culminant D du Mont-Serraggio à la pointe Genebaro, point E, en partie ondulée, partant de ce point E et suivant la crête du Mont-Mercolinco, pour aboutir au point culminant de ce mont, point F du plan.

Au Sud, par une ligne droite, allant du point culminant F ci-dessus au point G, angle sud-est de la maison de Pesce (Louis), maison la plus méridionale du hameau

---

(1) *Voir* 4e série des Annales des mines, tome XIX, page 767.

de Granaggiolo, ligne prolongée jusqu'à son intersection, en N, avec la ligne PR, menée du point P, rencontre des chemins de Rogliano et de Granaggiolo à Botticella, au point R, angle nord-est de la chapelle Saint-Nicolas.

A l'Ouest, par la ligne NP, allant du point N, ci-dessus défini, au point P, rencontre des chemins de Rogliano et de Granaggiolo à Botticella, et par un autre ligne droite, allant de ce point P à l'angle nord-est de la maison de Piccini (Antoine), point de départ.

Lesdites limites renfermant une étendue superficielle de deux kilomètres carrés, vingt-deux hectares.

. . . .

Art. 4. Les droits attribués aux propriétaires de la surface, par les articles 6 et 42 de la loi du 21 avril 1810, sur le produit des mines concédées, sont réglés à une rente annuelle de quinze centimes par hectare de terrain compris dans la concession.

Ces dispositions seront applicables nonobstant les stipulations contraires qui pourraient résulter de conventions antérieures entres les concessionnaires et les propriétaires de la surface.

. . . .

Art. 7. Les minerais provenant des différents travaux de recherches et actuellement existants sur ces travaux ou dans les magasins situés sur les lieux d'embarquement, sont dévolus aux concessionnaires, sous l'obligation de payer aux explorateurs, pour les minerais qu'ils ont extraits, telles indemnités qui pourront leur être allouées par le conseil de préfecture, conformément aux dispositions de l'article précédent.

Décret du Président de la République, en date du 16 *août* 1851, *relatif à la perception des droits de navigation établis sur le canal des* ÉTANGS. — Droits de navigation sur le canal des Étangs.

Le Président de la République,

Vu la loi du 21 vendémiaire an V, portant création d'un droit de navigation sur le canal du Midi;

Vu la loi du 29 floréal an X, qui a établi le même tarif sur les canaux du port de Cette;

Vu la loi du 5 août 1821, autorisant le gouvernement à concéder temporairement lesdits canaux;

Vu l'ordonnance du 30 janvier 1822, approbative du traité passé avec le sieur Usquin et compagnie;

Vu l'ordonnance du 30 novembre 1839 (1), relative aux distances kilométriques;

Sur le rapport du ministre des finances,

Décrète:

Art. 1er. A partir du 1er novembre 1851, les droits de navigation établis sur le canal des Étangs seront perçus en principal, conformément au tarif ci-après:

Marchandises.

1re CLASSE (par tonne et par kilomètre).

.... Sels marins...., verreries, faïence, cristaux, cinq centimes, ci.	0,05

2e CLASSE.

..... Fers et fontes ouvrés et non ouvrés, trois centimes, ci.	0,03

3e CLASSE.

Houilles et cokes, briques, tuiles, ardoises, chaux, plâtres, ... ciment, moellons, sables, cailloux, gravier, engrais de toute espece, marbres et pierres de taille, un centime et demi, ci.	0,01 1/2
Service accéléré du canal du Midi, trois centimes, ci.	0,03
Marchandises à destination de Montpellier, et *vice versâ*, un demi-centime, ci.	0,00 1/2

. . . .

Art. 2. Les marchandises non dénommées ci-dessus seront rangées, par assimilation, dons la classe avec laquelle elles auront le plus de rapport.

Art. 3. Les bateaux chargés de marchandises diverses seront imposés suivant le poids et la nature de chaque partie du chargement.

Art. 4. Sont exempts de droits:

1° Les bateaux entièrement vides;

2° Les bateaux employés exclusivement au service ou aux travaux de la navigation par les agents des Ponts-et-Chaussées;

3° Les bateaux pêcheurs, lorsqu'ils porteront uniquement des objets relatifs à la pêche;

(1) Bulletin des lois, IXe série, Bull. 606, n° 8374.

4° Les bateaux appartenant aux propriétaires ou fermiers, et chargés d'engrais, de denrées, de récoltes et de grains en gerbes pour le compte desdits propriétaires ou fermiers, lorsqu'ils auront obtenu autorisation de se servir de bateaux particuliers, dans l'intérêt de leur exploitation.

Art. 5. Les dispositions de l'ordonnance du 15 octobre 1836 (1) sont applicables au canal des Étangs, en ce qui touche la déclaration et la vérification des chargements passibles du droit de navigation.

Art. 6. Le ministre des finances est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au Bulletin des lois.

Usine à fer, à Lay-Saint-Christophe.

Décret du Président de la République, en date du 16 août 1851, qui retire l'autorisation conférée au sieur Martin *par l'ordonnance du 12 février 1848, pour l'établissement d'une usine à fer composée de quatre hauts-fourneaux dans la commune de* Lay-Saint-Christophe (Meurthe).

Recherches de minerais de cuivre à Sidi-Boasi, près Ténès, en Algérie.

Décret du Président de la République, en date du 22 août 1851, qui autorise MM. Senn *et* Soudry *à exporter directement à l'étranger jusqu'à concurrence de 200 tonnes de minerais de cuivre provenant des travaux de recherches qu'ils ont entrepris à* Sidi-Boasi, *sur le territoire militaire de* Ténès (province d'Alger).

Le Président de la République,

Vu l'article 9, § 5 de la loi de douane du 11 janvier 1851, portant que « l'autorisation d'exporter les minerais » de cuivre de provenance algérienne, pourra être accor- » dée temporairement par voie de décret présidentiel »;

Vu la demande formée par MM. Senn et Soudry, négociants à Marseille, en vue d'obtenir la permission d'exporter directement à l'étranger, jusqu'à concurrence de deux cents tonnes, les minerais de cuivre provenant de l'exploration qu'ils ont été autorisés à entreprendre en vertu d'un arrêté ministériel du 22 avril 1851, de gise-

(1) Bull. des lois, IXe série, Bull. 462, n° 6532.

ments de minerais existants à Sidi-Boasi, près Ténès (division militaire de la province d'Alger);

Sur le rapport du ministre de la guerre,

Décrète :

Art. 1er. MM. Senn et Soudry sont autorisés à exporter directement à l'étranger, à titre d'essai, jusqu'à concurrence de deux cents tonnes de minerais de cuivre provenant des gisements de Sidi-Boasi, situés sur le territoire militaire de Ténès (province d'Alger).

Cette exportation est autorisée pour un délai de six mois à partir du jour de la notification du présent décret.

Art. 2. Les permissionnaires seront tenus de faire connaître au ministre de la guerre le résultat du traitement dudit minerai et la valeur commerciale qui lui aura été assignée.

Art. 3. Le ministre de la guerre est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au Bulletin officiel des actes du gouvernement de l'Algérie, ainsi qu'au *Moniteur algérien.*

Usine à fer, à Saint-Dizier.

Décret du Président de la République, en date du 5 septembre 1851, *qui autorise les sieurs* Rozet *et* de Ménisson, *maîtres de forges au* Clos-Mortier, *à établir une usine à fer sur une dérivation de la* Marne, *au lieu dit* la Fosse-Cadet, *commune de* Saint-Dizier (Haute-Marne).

La consistance de ladite usine est et demeurera fixée ainsi qu'il suit, savoir :

Deux hauts-fourneaux au charbon de bois;

Seize fours à puddler et huit fours à réchauffer à la houille;

Les machines soufflantes et de compression nécessaires au roulement de l'établissement.

Hauts-fourneaux à Novéant.

Décret du Président de la République, en date du 5 septembre 1851, *qui autorise les sieurs* Hermann Puricelli, Charles Puricelli fils, Édouard Puricelli, *maîtres de forges, domiciliés à* Rheinbollenhutte (Prusse-Rhénane), *et représentés par le sieur* Louis de Dorsberg, *entrepreneur de roulage à* Metz, *à établir*

dans la commune de Novéant, *arrondissement de* Metz (Moselle), *deux hauts-fourneaux pour la fusion du minerai de fer, lesquels marcheront au coke et recevront le vent d'une machine soufflante mue par la vapeur.*

Décret du Président de la République, en date du 5 *septembre* 1851, *qui autorise le sieur* Channier *à maintenir en activité l'usine à fer de* Messarges, *alimentée par les eaux de l'étang de ce nom et située dans les communes de* Souvigny *et de* Noyant (Allier).

Usine à fer de Messarges, communes de Souvigny et Noyant.

Cette usine est et demeurera composée ainsi qu'il suit, savoir :

1° Un haut-fourneau au charbon de bois;

2° Deux feux de forge;

3° Les machines soufflantes et les machines de compression et d'étirage nécessaires au roulement de l'usine.

Décret du Président de la République, en date du 5 *septembre* 1851, *qui autorise les sieurs* Bouguerret, Martenot *et* C[ie], *maîtres de forges, à maintenir en activité le haut-fourneau pour la fusion du minerai de fer et le patouillet qu'ils possèdent sur la rivière d'*Ource, *commune de* Vanvey (Côte-d'Or).

Haut-fourneau et patouillet, à Vanvey.

Décret du Président de la République, en date du 5 *septembre* 1851, *qui autorise le sieur* Fernand *à maintenir en activité l'usine à fer qu'il possède sur le ruisseau de* la Vache, *dans la commune de* Raveau (Nièvre).

Usine à fer, à Raveau.

Cette usine est et demeurera composée ainsi qu'il suit, avoir :

1° Un haut-fourneau marchant au charbon de bois et au coke mélangés;

2° Deux laviers à bras pour la préparation du minerai de fer;

3° Les machines soufflantes et de compression nécessaires au roulement de l'usine.

Usine à fer de la Couade, à Saint-Mathieu.

Décret du Président de la République, en date du 5 septembre 1851, *qui autorise le sieur* Jean-Baptiste Blanchon-Lasserve, *propriétaire et maître de forges, à maintenir en activité l'usine à fer dite de* la Couade, *sise sur le ruisseau de* la Calle, *commune de* Saint-Mathieu (Haute-Vienne).

La consistance de ladite usine est et demeurera composée de deux foyers d'affinerie au charbon de bois, ainsi que des machines soufflantes et des appareils de compression nécessaires pour opérer la conversion de la fonte en fer forgé.

Usine à fer, à Livron.

Décret du Président de la République, en date du 5 septembre 1851, *qui autorise le sieur* Honoré Mazade *à établir sur sa propriété sise sur la rive droite de la* Drôme *au quartier de* Bompart, *commune de* Livron (Drôme), *une usine pour la fabrication et l'étirage du fer.*

La consistance de cette usine est et demeurera déterminée ainsi qu'il suit, savoir :

Un four à puddler;

Deux fours à réchauffer pour le traitement des riblons;

Deux feux de chaufferie;

Et les appareils de compression nécessaires pour l'étirage du fer.

Usine à fer, à Saint-Vincent-sur-l'Isle.

Décret du Président de la République, en date du 5 septembre 1851, *qui autorise le sieur* Pierre Lacombe *à mettre en activité l'usine à fer qu'il possède au lieu dit* les Soucis, *dans la commune de* Saint-Vincent-sur-l'Isle (Dordogne).

La consistance de cette usine est et demeurera composée de deux fours à puddler, d'un four à réchauffer et des appareils de compression nécessaires.

Usines à parer le fer et l'acier, etc., communes de Bénac et de Serres.

Décret du Président de la République, en date du 5 septembre 1851, *qui autorise le sieur* Bernard Comminges *à maintenir en activité les diverses usines ci-après définies qu'il possède au hameau de* Gaynes, *sur la limite des deux communes de* Bénac *et de* Serres (Ariége), *savoir :*

1° *Un moulin à farine, un ancien martinet à parer le fer, et un fourneau à cémentation, situés dans la commune de* Bénac ;

2° *Un martinet à parer et à corroyer l'acier, établi dans la commune de* Serres.

Décret du Président de la République, en date du 5 septembre 1851, qui autorise le sieur Poncin-Léonard *à établir une platinerie dans les bâtiments du moulin qu'il possède sur le ruisseau de* la Claynée, *commune d'*Illy (Ardennes). Platinerie, commune d'Illy.

Décret du Président de la République, en date du 5 septembre 1851, qui autorise le sieur Drumbaux-Gendarme *à maintenir en activité l'atelier pour la préparation du minerai de fer qu'il possède au lieu dit* la Fosse-Pignon, *commune de* Poix (Ardennes), *et qui est alimenté par les eaux d'un étang supérieur.* Patouillet et lavoirs à bras, commune de Poix.

La consistance de cet atelier est et demeurera fixée ainsi qu'il suit, savoir :

1° Un patouillet à une huche, muni d'un lavoir à bras;

2° Un second lavoir à bras, isolé.

Décret du Président de la République, en date du 5 septembre 1851, qui autorise les sieurs André de Sainte-Maure, Picot de Dampierre *et* Théodorit Bonabe de Rougé, 1° *à maintenir en activité le patouillet à une huche qu'ils ont établi pour la préparation du minerai de fer, sur le ruisseau descendant de la ferme du* Pressoir, *provenant des sources dites* le Pinsot, *commune de* Créancey (Haute-Marne); 2° *à ajouter une seconde huche à ce patouillet.* Patouillet, à Créancey.

Décret du Président de la République, en date du 5 septembre 1851, qui autorise les sieurs Bouguerret, Martenot et Cie, *à maintenir en activité, aux lieux dits :* les Patouillets des Forges et de la Loge, *commune de* Jully (Yonne), *six lavoirs à cheval pour la prépara-* Lavoirs à cheval, à Jully.

tion du minerai de fer, alimentés par le cours d'eau provenant de la source communale du hameau des Forges, *annexe de* Jully, *et formant trois ateliers distincts, savoir : 1° Un atelier composé d'un lavoir à cheval établi près de la jonction des deux chemins qui conduisent du hameau de la Loge et de la Maine au hameau des* Forges; *2° Un atelier composé de quatre lavoirs à cheval etabli sur le bord du chemin des Forges à la Maine; 3° Un atelier composé d'un lavoir à cheval établi sur le bord du chemin des Forges à la Loge.*

Lavoir à cheval, à Jully.

Décret du Président de la République, en date du 5 septembre 1851, *qui autorise le sieur* Jules Chauvot, *sous la réserve expresse des droits des tiers, à maintenir en activité un lavoir à cheval pour la préparation du minerai de fer, qu'il a établi au lieu dit :* les Forges, *commune de* Jully (Yonne), *et qui est alimenté par les eaux d'une source recueillie dans un puisard.*

Lavoirs à bras, à Champigneulles.

Décret du Président de la République, en date du 5 septembre 1851, *qui autorise les sieurs* Dupont *et* Dreyfus *à établir deux lavoirs à bras pour la préparation du minerai de fer nécessaire à leur haut fourneau de* Champigneulles, *dans des terrains appartenant au sieur* Ludet, *sur le territoire de la commune de* Champigneulles (Ardennes), *et à alimenter lesdits lavoirs avec les eaux de la fontaine de* Mohin.

Lavoir à bras, à Grandpré.

Décret du Président de la République, en date du 5 septembre 1851, *qui autorise le sieur* Lallemand-Maréchal, *maître de forges à* Stenay, *à établir un lavoir à bras pour la préparation du minerai de fer dans un terrain qu'il tient à bail du sieur* d'Houdin, *au lieu dit* la Fontaine-des-Dames, *commune de* Grandpré (Ardennes).

Lavoir à bras, à Audun-le-Tiche.

Décret du Président de la République, en date du 5 septembre 1851, *qui autorise les sieurs* Benjamin Aubé, Aubé fils *et* Tronchon, *propriétaires des forges d'*Herse-

RANGE, *à établir un lavoir à bras pour la préparation du minerai de fer, au lieu dit* LA BUTIER, *commune d'*AUDUN-LE-TICHE (Moselle), *en partie sur un terrain appartenant à ladite commune, et en partie sur un pré appartenant au sieur* Pierre JOSEPH, *à charge des indemnités dues aux propriétaires du sol, et après les avoir prévenus un mois d'avance, par acte extra-judiciaire, conformément aux prescriptions de l'art.* 80 *de la loi du* 21 *avril* 1810.

Décret du Président de la République, en date du 5 *septembre* 1851, *qui autorise les sieurs* BOUTMY père et fils *et* Cie, *à maintenir en activité deux lavoirs à bras pour l'épuration ou deuxième lavage des minerais de fer déjà lavés une première fois, établis dans les dépendances de l'usine à fer qu'ils possèdent sur le territoire de la commune de* CHAUVENCY-SAINT-HUBERT (Meuse).

Lavoirs à bras à Chauvency-Saint-Hubert.

Décret du Président de la République, en date du 8 *septembre* 1851 (1), *qui autorise l'admission temporaire, en franchise de droits, des fontes brutes pour la fabrication des machines destinées à l'exportation.*

Le Président de la République,

Sur le rapport du ministre de l'agriculture et du commerce;

Vu l'article 5 de la loi du 5 juillet 1836,

Décrète:

Art. 1er. Les fontes brutes destinées à être converties, en France, en machines et mécaniques pour la réexportation seront admises en franchise de droits, sous les conditions déterminées par l'article 5 de la loi du 5 juillet 1836, lorsque l'importation en sera effectuée soit par terre, soit par mer, sous le pavillon français ou sous le pavillon du pays de production. Dans ce dernier cas, l'origine desdites fontes devra être justifiée par des certificats authentiques.

Art. 2. Les déclarants s'engageront, par une soumis-

---

(1) *Voir* ci-après, p. 747, la circulaire transmissive du 18 sept. 1851.

sion valablement cautionnée, à réexporter ou à réintégrer en entrepôt, dans un délai qui ne pourra excéder six mois, des machines ou mécaniques en poids égal au poids de la fonte brute importée temporairement en franchise de droits.

Art. 3. Dans le cas prévu par l'article 1er ci-dessus, les fontes brutes ne pourront être importées, et les objets fabriqués avec ces fontes ne pourront être réexportés que par les ports d'entrepôt réel ou par les bureaux de douanes ouverts à l'entrée des marchandises taxées à plus de 20 francs par 100 kilogrammes.

Art. 4. Toute soustraction, tout manquant, constatés par le service des douanes, donneront lieu à l'application des pénalités et interdictions prononcées par l'article 5 de la loi du 5 juillet 1836.

Toutefois, les déficits qui seront reconnus provenir exclusivement du déchet de main-d'œuvre ne seront soumis qu'au payement du simple droit d'entrée afférent à la matière brute.

Art. 5. Le ministre de l'agriculture et du commerce et le ministre des finances sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Mines de l'Oued-Allelah, près Ténès, en Algérie.

Décret du Président de la République, en date du 18 *septembre* 1851, *qui autorise les concessionnaires des mines de l'*OUED-ALLELAH, *situées près de* TÉNÈS (province d'Alger), *à exporter directement d'Algérie à l'étranger jusqu'à concurrence de* 3,000 *tonnes de minerais de cuivre provenant de leur exploitation.*

Le Président de la République,

Vu l'article 9, § 5 de la loi de douanes du 11 janvier 1851, portant que l'autorisation d'exporter à l'étranger les minerais de cuivre de provenance algérienne pourra être accordée temporairement par voie de décret;

Vu la demande formée par MM. Briqueler, Chevandier et Desages, concessionnaires des mines de fer, de cuivre et de plomb de l'Oued-Allelah, situées près de Ténès (province d'Alger), en vue d'obtenir l'autorisation d'exporter directement du lieu d'exploitation à l'étranger, 3,000 tonnes de minerai de cuivre pendant l'espace de deux années;

Vu la dépêche du gouverneur général de l'Algérie, en date du 8 juillet 1851, et le rapport de l'ingénieur des mines de la province d'Alger, sous la date du 4 du même mois ;

Considérant qu'il importe, dans l'intérêt de l'exploitation de ces mines, de procurer aux concessionnaires les moyens d'écouler leurs minerais ;

Sur la proposition du ministre de la guerre et l'avis conforme des ministres du commerce et des finances,

Décrète :

Art. 1er. MM. Briqueler, Chevandier et Desages sont autorisés à exporter directement d'Algérie à l'étranger jusqu'à concurrence de 3,000 tonnes de minerais de cuivre provenant de leur concession de l'Oued-Allelah, située près de Ténès (province d'Alger).

Cette exportation devra être effectuée dans l'espace de deux années à dater de la notification du présent décret.

Art. 2. Le ministre de la guerre est chargé de l'exécution du présent décret qui sera inséré au bulletin officiel des actes du gouvernement de l'Algérie, ainsi qu'au Moniteur algérien.

Procès-verbal en date du 30 *octobre* 1851, *relatif à l'adjudication de la concession des mines de fer de* LA MÉBOUDJA, *près de* BÔNE, province de CONSTANTINE (Algérie). **Mines de fer de la Meboudja, en Algérie.**

L'an mil huit cent cinquante et un, le trente octobre à midi.

Nous, Charles-Marie Lefebure, sous-intendant militaire, employé à la résidence de Paris ;

Pour l'exécution des ordres de M. le ministre de la guerre, en date du 24 octobre courant, portant qu'il sera procédé, le 30 du même mois à midi, au ministère de la guerre, par-devant M. le secrétaire général et en présence du chef du bureau des travaux publics, du commerce, etc. (service de l'Algérie), à l'adjudication publique et aux enchères de la concession des mines de fer de la Meboudja, près de Bône, province de Constantine (Algérie), accordée à M. de Bassano, par ordonnance du 9 novembre 1845 et dont le retrait a été prononcé, pour cause de non-exploitation, par arrêté ministériel du 28 mars 1851, no-

tifié à M. de Bassano, à Paris, par une dépêche ministérielle du 12 avril suivant, signifié extrajudiciairement au même, à Bône, à la date du 24 mai, par l'entremise du commissaire de police de cette ville et en la personne du directeur des mines de la Méboudja qui y était domicilié, promulgué en outre au *Bulletin officiel des actes du gouvernement de l'Algérie*, inséré au Moniteur algérien et porté sur les lieux à la connaissance du public par des affiches; ladite adjudication devant avoir lieu en exécution des ordonnance et arrêté précités et en vertu des lois sur les mines des 21 avril 1810 et 27 avril 1838, M. de Bassano ni aucun de ses coïntéressées n'ayant formé de pourvoi contre l'arrêté ministériel du 28 mars 1851, dans le délai de recours de trois mois, qui, partant du 24 mai 1831, jour de la signification dudit arrêté, faite à Bône au représentant de M. de Bassano, a expiré le 24 août 1851,

Nous sommes transporté dans une des salles de l'hôtel de la guerre, rue Saint-Dominique, 88, à l'effet de procéder à ladite adjudication, laquelle a été annoncée tant par des affiches placardées en Algérie, dans Paris et dans plusieurs des principales villes de France, que par des avis insérés dans les journaux, pour aujourd'hui, heure et lieu précités, et de plus notifiée directement par dépêche ministérielle du 20 septembre 1851 à M. Laurent, commissaire liquidateur de l'ancienne société en commandite de Bassano et Cie, demeurant à Paris, rue Martel, 5;

Et à cet effet de constater : 1° le dépôt préalable des diverses pièces justificatives exigées par le cahier des charges arrêté par M. le ministre le 12 septembre 1851, les noms, prénoms et qualités des concurrents admis à l'adjudication, après examen de ces pièces;

2° L'ouverture et la réception des enchères et, dans tous les cas, le résultat de l'adjudication;

Où étant, nous avons trouvé réunis, aux mêmes fins, M. Bourjade, colonel au corps d'état-major, secrétaire général, délégué par M. le ministre pour présider à ladite adjudication, et M. Farcy, chef de bureau des travaux publics, du commerce, etc. (service de l'Algérie), désigné pour y assister. Il a été alors procédé à cette opération de la manière suivante :

La séance étant ouverte et toutes les personnes qui se

sont présentées ayant été introduites, M. le secrétaire général, président de la commission d'adjudication, a rappelé qu'aux termes du cahier des charges du 12 septembre 1851, relatif à l'adjudication :

« Nul ne serait admis à soumissionner s'il ne justifiait » des facultés suffisantes pour entreprendre et conduire » les travaux et des moyens de satisfaire aux redevances, » indemnités et conditions diverses imposées par l'ordon- » nance de concession et par le cahier des charges y an- » nexé. »

Que « les concurrents étaient tenus, en outre, de pro- » duire un récépissé délivré par le receveur de la caisse » des dépôts et consignations, d'une somme de 5.000 fr., » montant du cautionnement exigé pour assurer l'exécu- » tion des travaux d'exploitation. »

Que « cette adjudication ne serait valable et définitive » qu'après avoir reçu l'approbation du ministre. »

M. le secrétaire général, président, a ensuite proposé de faire donner lecture de l'ordonnance de concession du 9 novembre 1845, ainsi que du cahier des charges y annexé, et communication, si quelqu'un le désirait, du plan également annexé à ladite ordonnance, l'adjudicataire étant tenu d'observer les clauses et conditions stipulées dans lesdits ordonnance et cahier des charges dont il a été donné connaissance, ainsi que du plan, aux personnes qui se sont présentées : à Paris, dans les bureaux du ministère de la guerre (service de l'Algérie); à Constantine, dans ceux de la préfecture; à Bône, dans ceux de l'ingénieur, chef du service des mines de la province de Constantine.

Cette lecture n'ayant pas été réclamée, M. le secrétaire général, président, a invité les personnes qui désireraient prendre part à l'adjudication, à effectuer préalablement le dépôt, sur le bureau, des pièces justificatives prescrites.

S'est présenté M. Ogier (Louis-Joseph-Gaston), propriétaire, demeurant à Paris, rue de l'Université, 102, agissant tant en son nom personnel que comme représentant, aux termes d'une procuration du 26 octobre 1851, enregistrée à Noyon, le 27 du même mois, M. de Laténa (Nicolas-Valentin), demeurant à Paris, rue de la Ferme-des-Mathurins, 21; lesdits MM. Ogier et Laténa procédant tant en leurs noms qu'au nom et comme admi-

nistrateurs d'une société en participation, constituée par acte sous signatures privées, en date, à Paris, du 10 octobre 1851, et, à Marseille, du 15 du même mois, et enregistré à Paris, le 25 dudit mois.

M. Ogier a déposé sur le bureau les pièces suivantes, savoir :

1° Un extrait authentique de l'acte de société en participation, mentionné ci-dessus ;

2° Un acte de notoriété, en date du 29 octobre 1851, passé devant Mᵉ Cousin, notaire à Paris, et constatant les facultés pécuniaires de ladite société en participation ;

3° La procuration, du 26 octobre 1851, donnée par M. Laténa à M. Ogier, ainsi qu'il est dit ci-dessus ;

4° Enfin, un certificat du receveur de la caisse des dépôts et consignations, du 29 octobre 1851, attestant le versement, par M. Ogier, de la somme de cinq mille francs, à titre de garantie de la soumission de ladite société en participation.

Ces pièces ayant été déclarées régulières, après examen par la commission d'adjudication, M. le président a annoncé que les enchères étaient ouvertes sur la mise à prix de *sept mille francs* (7.000 fr.) fixée pour la concession des mines de fer de la Méboudja, par le cahier des charges du 12 septembre 1851, et qu'elles ne seraient pas reçues au-dessous d'un minimum de cinquante francs.

M. Ogier (Louis-Joseph-Gaston), procédant aux qualités ci-dessus énoncées, ayant offert *sept mille cinquante francs*, et étant le seul enchérisseur, a été déclaré, par M. le secrétaire général, président, adjudicataire, audit prix, de la concession des mines de fer de la Méboudja, sous réserve de l'approbation par le ministre de l'adjudication, et à la condition d'acquitter, ainsi qu'il en sera requis, le montant de ladite somme, plus les frais divers, dans les vingt jours de la notification qui lui aura été faite, de l'approbation ministérielle ; ledit adjudicataire devant, aux termes du cahier des charges du 12 septembre 1851, entrer en jouissance à partir du jour de cette approbation, et à la charge par lui de se conformer à l'ordonnance du 9 novembre 1845, au cahier des charges y annexé et au cahier des charges du 12 septembre 1851, qu'il a déclaré bien connaître, ainsi qu'aux lois et règlements qui régissent ou pourront régir ultérieurement l'exploita-

tion des mines, et a visé avec nous ledit cahier des charges, du 12 septembre 1851, *ne varietur*.

De tout ce que dessus, nous sous-intendant militaire susdit, avons rapporté le présent procès-verbal, que MM. Bourjade, secrétaire général, président, Farcy et l'adjudicataire ont signé avec nous.

Fait et clos à Paris, les jour, mois et an que dessus.

C. Farcy, Lefébure, Bourjade, L. Ogier

Approuvé l'adjudication ci-dessus de la concession des mines de fer de la Méboudja, près de Bône, province de Constantine (Algérie), en faveur de M. Ogier (Louis-Joseph-Gaston), lequel a déclaré agir tant en son nom personnel que comme représentant, aux termes d'une procuration par-devant notaire, du 26 octobre 1851, M. de Laténa (Nicolas-Valentin); lesdits MM. Ogier et de Laténa procédant tant en leur nom qu'au nom et comme administrateurs d'une société en participation, constituée par acte sous signatures privées, en date des 10 et 15 octobre 1851, et dûment enregistré le 25 du même mois.

Demeureront annexées à la minute du présent procès-verbal les pièces suivantes, savoir :

1° Une expédition du cahier des charges en date du 12 septembre 1851, visée par M. Ogier;

2° L'extrait authentique de l'acte sous signatures privées, des 10 et 15 octobre 1851, enregistré à Paris le 25 du même mois, et constitutif de la société en participation;

3° L'acte de notoriété passé par-devant notaire, le 29 octobre 1851, enregistré le même jour à Paris, et constatant les facultés pécuniaires de ladite société en participation;

4° La procuration donnée par-devant notaire, à M. Ogier, par M. Laténa, le 26 octobre 1851, et enregistrée, le 27 du même mois, à Noyon.

Paris, le 5 novembre 1851.

Le ministre de la guerre,
Signé A. de SAINT-ARNAUD.

En marge du procès-verbal se trouve la mention suivante :

Enregistré à Paris, le 6 novembre 1851, fol. 110, v° c. 199.
Reçu deux francs vingt centimes, 10e compris.
Signé Valleran.

***Cahier des charges de l'adjudication de la concession des mines de fer de la* MÉBOUDJA, *près Bône* (Algérie).**

Art. 1er. Il sera procédé le jeudi 30 octobre prochain, à midi précis, dans l'une des salles du ministère de la guerre, et par-devant le secrétaire général, à l'adjudication, aux enchères publiques, de la concession des *mines de fer de la Méboudja*, sise à 11 kilomètres à l'Ouest de Bône, en Algérie.

Art. 2. Cette concession, accordée pour 99 ans au sieur E. de Bassano, par ordonnance du 9 novembre 1845, et dont il a été fait retrait par arrêté ministériel du 28 mars 1851, est délimitée, conformément au plan annexé à l'ordonnance précitée, par les lettres PMBG, et renferme une superficie de 14 kilomètres carrés, 5 hectares.

Elle présente sur les deux versants de l'Oued-Chaîba, des affleurements de fer oxydulé, mis à nu par des tranchées à ciel ouvert, qui rendent à l'essai de 50 à 55 p. 100 de fer

Une petite maison d'ouvriers, en mauvais état, est établie à peu de distance de cet affleurement, et fait partie des immeubles de la concession.

Art. 3. L'adjudication aura lieu sur la mise à prix de sept mille francs.

Art. 4. Les personnes qui désireront concourir à cette adjudication, pourront prendre connaissance de l'ordonnance de concession, du plan et du cahier des charges y annexés, à Paris, dans les bureaux du ministère de la guerre (service de l'Algérie); à Constantine, dans ceux de la préfecture; à Bône, dans ceux de l'ingénieur, chef du service des mines de la province de Constantine.

Art. 5. Nul ne sera admis à soumissionner s'il ne justifie des facultés suffisantes pour entreprendre et conduire les travaux, et des moyens de satisfaire aux redevances, indemnités et conditions diverses imposées par l'ordonnance de concession et par le cahier des charges y annexé.

Art. 6. Les concurrents devront, en outre, produire un récépissé, délivré par le receveur de la Caisse des dépôts et consignations, d'une somme de 5.000 francs, montant du cautionnement exigé pour assurer l'exécution

des travaux d'exploitation. Ce cautionnement sera rendu à l'adjudicataire aussitôt qu'il aura été constaté qu'il a satisfait aux conditions prescrites par les articles 2 à 6 du cahier des charges de la concession.

Art. 7. Le bureau d'adjudication sera juge de la valeur des pièces justificatives exigées par l'article 5. Toute pièce qui ne sera pas établie régulièrement sera considérée comme non produite.

Art. 8. Aucune enchère ne pourra être reçue au-dessous d'un minimum de 50 francs.

Art. 9. A l'heure fixée par le bureau pour la clôture des enchères, le plus fort et dernier enchérisseur sera déclaré adjudicataire, sauf l'approbation ministérielle.

Art. 10 L'adjudicataire entrera en jouissance à partir du jour de l'approbation ministérielle donnée à l'adjudication.

Art. 11. Il payera, dans les vingt jours de la notification qui lui aura été faite de l'approbation par le ministre de l'adjudication, le montant de l'adjudication, pour être versé au concessionnaire déchu, ou à ses ayants droit, ou distribué judiciairement suivant qu'il y aura lieu, déduction faite des sommes dues à l'État pour redevances, frais divers, etc.

Art. 12. Tous les frais d'affiche, d'insertion dans les journaux, de timbre, d'enregistrement (droit fixe de 2 francs, plus le décime), et généralement tous les autres frais dus pour la présente adjudication, seront également à la charge de l'adjudicataire.

Art 13. La concession de la Méboudja sera adjugée dans l'état où elle se trouve, et il ne sera accordé aucune indemnité de prix pour moins-mesure ni autrement.

Art. 14. L'adjudicataire sera tenu d'observer les clauses et conditions stipulées dans l'ordonnance de concession du 9 novembre 1845, et dans le cahier des charges y annexé, ainsi que les lois et règlements qui régissent ou pourront ultérieurement régir l'exploitation des mines.

Paris, le 12 septembre 1851.

Le ministre de la guerre,
Signé RANDON.

Haut-fourneau, à Longwy.

Décret du Président de la République, en date du 31 octobre 1851, qui autorise le sieur Henri-Xavier Limbourg *à établir un haut-fourneau pour la fusion du minerai de fer sur un terrain qui lui appartient, situé en amont du moulin qu'il possède sur la rivière de* Chiers, *commune de* Longwy, *arrondissement de* Briey (Moselle).

Décret du Président de la République, en date du 5 novembre 1851 (1), qui modifie les droits établis à l'importation du borax.

Le Président de la République,

Sur le rapport du ministre de l'agriculture et du commerce;

Vu l'article 34 de la loi du 17 décembre 1814,

Décrète :

Art. 1er. Les droits établis à l'importation du borax sont modifiés ainsi qu'il suit :

Borax brut ou mi-raffiné	par navires français	de l'Inde, exempt.		les 100 kilog.
		d'ailleurs	3 fr.	
	par navires étrangers et par terre		6 fr.	

Art. 2. Le ministre de l'agriculture et du commerce et le ministre des finances sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Haut-fourneau, à Saint-Vincent-de-Paul.

Décret du Président de la République, en date du 18 novembre 1851, qui autorise le sieur Victor Lasserre *à établir sur le ruisseau de* Goux *qui fait mouvoir la forge de* Saint-Paul, *commune de* Saint-Vincent-de-Paul (Landes), *un haut-fourneau pour la fusion du minerai de fer au charbon de bois.*

Usine à fer de Messempré, à Messincourt.

Décret du Président de la République, en date du 24 novembre 1851, qui autorise les sieurs Boutmy père et fils et Cie, *représentants des sieurs* A.-F. Seillière, *à ajouter un four à souder à l'usine à feu dite aujourd'hui* la Routerie *de* Messempré, *située sur le ruisseau de* Launais, *commune de* Messincourt, *arrondissement de* Sédan (Ardennes), *laquelle usine a été autorisée sous le nom de*

---

(1) *Voir* ci-après, p. 773, la circulaire transmissive du 13 nov. 1851.

Fenderie de MESSINCOURT *par l'ordonnance du* 14 *août* 1842, *rendue au profit du sieur* A.-F. SEILLIÈRE.

La consistance de l'usine est et demeure en conséquence fixée comme il suit, savoir :

1° Un four de chaufferie;

2° Un four à souder, avec les équipages de cylindres et autres appareils nécessaires à la compression et à l'étirage du fer.

Décret du Président de la République, en date du 24 *novembre* 1851, *qui autorise le sieur* DRUMBAUX-GENDARME, *maître de forges à* CHARLEVILLE, *à établir deux lavoirs à bras pour la préparation du minerai de fer, au lieu dit :* LA VALLÉE-DES-GORGES, *commune de* MAZERNY (Ardennes). Lavoirs à bras, à Mazerny.

Décret du Président de la République, en date du 26 *novembre* 1851, *portant que le tarif des droits de navigation sur les canaux de* BERRY et LATÉRAL *à la Loire, de Digoin à Briare, est prorogé jusqu'au* 1er *mars* 1852, *et que le même tarif continuera à être appliqué aux canaux de jonction ouverts à Decize et à Fourchambault, entre la Loire et le canal latéral* (1). Droits de navigation sur les canaux de Berry et latéral à la Loire, de Digoin à Briare.

Décret du Président de la République, en date du 1er *décembre* 1851, *qui accorde aux sieurs* Jean-Baptiste VINCENT, Jean SERRE et Alexis BOULETIN, *la concession de mines de lignite situées dans la commune de* SAINT-MARCEL-DE-CARREIRET, *arrondissement* d'UZÈS (Gard). Mines de lignite de Saint-Marcel, de Carreiret.

(EXTRAIT.)

Art. 2. Cette concession, qui prendra le nom de *Concession de Saint-Marcel-de-Carreiret*, est limitée, conformément au plan annexé au présent décret, ainsi qu'il suit, savoir :

Au Nord, par une ligne droite allant du clocher de l'église de Saint-Marcel à l'angle Nord du château des

(1) V. *suprà*, p. 702.

Opiats, cette ligne étant prolongée jusqu'à son intersection avec la limite des communes de Saint-Marcel et de Verfeuil;

A l'Ouest, par une ligne droite menée de ce dernier point à l'intersection du chemin de Saint-Marcel à Valsauve avec la limite des communes de Saint-Marcel de Carreiret et de Verfeuil;

Au Sud, par une ligne droite menée du point précédent à l'angle sud de la grange des Six-Deniers;

A l'Est, par une ligne droite menée de l'angle sud de la grange des Six-Deniers au clocher de Saint-Marcel de Carreiret, point de départ;

Lesdites limites renfermant une étendue superficielle de trois kilomètres carrés, quarante-huit hectares.

. . . .

Art. 4. Les droits attribués aux propriétaires de la surface, par les articles 6 et 42 de la loi du 21 avril 1810, sur le produit des mines concédés, sont réglés à une rente annuelle de cinq centimes par hectare de terrain compris dans la concession.

Ces dispositions seront applicables nonobstant les stipulations contraires qui pourraient résulter de conventions antérieures entre les concessionnaires et les propriétaires de la surface.

Cahier des charges de la concession des mines de lignite de Saint-Marcel de Carreiret.

(Extrait.)

Art. 8. Les concessionnaires ne pourront pratiquer aucune ouverture de travaux dans la forêt communale de Cuègnes, avant qu'il ait été dressé contradictoirement procès-verbal de l'état des lieux, par les agents de l'administration des forêts, afin que l'on puisse constater, au bout d'un an, et successivement chaque année, les indemnités qui seront dues. Les déblais extraits de ces travaux seront déposés aussi près que possible de l'entrée des mines, dans les endroits les moins dommageables, lesquels seront désignés par le préfet, sur la proposition des agents forestiers locaux, les concessionnaires et l'ingénieur des mines ayant été entendus.

Art. 9. Les concessionnaires seront civilement responsables des dégâts commis dans la forêt par leurs ouvriers

ou leurs bestiaux dans la distance fixée par l'article 31 du Code forestier.

Art. 10. Lorsque les concessionnaires abandonneront une ouverture de mine, ils pourront être tenus de la faire combler en nivelant le terrain, et de faire repeupler ce terrain en essence de bois convenable au sol. Cette disposition sera ordonnée, s'il y a lieu, par un arrêté du préfet, sur le rapport des agents de l'administration forestière et de l'ingénieur des mines, les concessionnaires ayant été entendus et sauf recours devant le ministre des travaux publics.

Décret du Président de la République, en date du 1er décembre 1851 *qui accorde au sieur* Alphonse Clément-Désormes, *la concession de mines de fer situées dans la commune de* Barbières, *arrondissement de* Valence. (Drôme).

Mines de fer de Barbières.

(Extrait.)

Art. 2. Cette concession, qui prendra le nom de *Concession de Barbières*, est limitée, conformément au plan annexé au présent décret, ainsi qu'il suit, savoir:

Au Nord, à partir de la maison Girard, point A du plan, par une ligne droite menée aux mines du château de Barbières, au point B;

A l'Est, à partir dudit point B, par une ligne droite se dirigeant sur le sommet du Serre-de-Giraud-de-Baire, point C, mais arrêtée à sa rencontre avec la limite des communes de Barbières et de Charpey, point P;

Au Sud, à partir du point P ci-désigné, par ladite limite, jusqu'au point Q où elle est coupée par une ligne tirée du domaine de la Garde, point L, à la maison Girard;

A l'Ouest, par la partie de la ligne droite ci-dessus définie, comprise entre le point Q et la maison Girard, point de départ;

Lesdites limites renfermant une étendue superficielle de quatre-vingt deux hectares.

Art. 3. La présente concession ne comprend que les minerais de fer en couches ou en filons, exploitables par travaux souterrains réguliers, à l'exclusion des minerais d'alluvion et des minerais en filons ou couches qui seraient

situés près de la surface et susceptibles d'être exploités à ciel ouvert, pourvu que ce mode d'exploitation ne rende pas impossible l'exploitatien ultérieure, par travaux souterrains, des minerais situés dans la profondeur.

Sont pareillement réservés tous les droits résultant, pour les propriétaires de la surface, de l'article 70 de la loi du 21 avril 1810, à raison des exploitations qui auraient été faites au profit de ces propriétaires antérieurement à la concession.

En cas de contestation entre les propriétaires du sol et le concessionnaire, sur la question de savoir si un gîte de minerai est ou non susceptible d'être exploité à ciel ouvert, ou si ce genre d'exploitation, déjà entrepris, doit cesser, il sera statué par le préfet, sur le rapport des ingénieurs des mines, les parties ayant été entendues, sauf le recours au ministre des travaux publics.

. . . .

Art. 5. Les droits attribués aux propriétaires de la surface, par les articles 6 et 42 de la loi du 21 avril 1810, sur le produit des mines concédées, sont réglés: 1° à une rente annuelle de cinq centimes par hectare de superficie; 2° à une redevance de vingt-cinq centimes par mètre cube de minerai extrait, payable aux propriétaires sous les terrains desquels des exploitations auront lieu.

Ces dispositions seront applicables nonobstant les stipulations contraires qui pourraient résulter de conventions antérieures entre le concessionnaire et les propriétaires de la surface.

Cahier des charges de la concession des mines de fer de BARBIÈRES.

(EXTRAIT.)

Art. 2. Pour continuer l'exploitation des gîtes concédés, on prolongera, suivant la direction du gîte et aussi loin que possible, la galerie principale de Barbières ainsi que les quatre galeries parallèles, en leur conservant en largeur et hauteur les dimensions actuelles. Ces galeries seront boisées suivant les règles de l'art partout où il en sera besoin. Elles seront reliées par des cheminées verticales dont l'emplacement et les dimensions seront fixées ultérieurement.

. . . .

Art. 19. En exécution de l'article 70 de la loi du 21 avril 1810, le concessionnaire fournira aux usines d'Oullins et de Soyons, qui s'approvisionnaient sur des gîtes compris dans sa concession, la quantité de minerai nécessaire à l'alimentation de ces usines, au prix qui sera fixé par l'administration.

Art. 20. Lorsque l'approvisionnement des deux usines ci-dessus désignées aura été assuré, le concessionnaire sera tenu de fournir, autant que ses exploitations le permettront, à la consommation des usines établies ou à établir dans le voisinage avec autorisation légale. Le prix des minerais sera alors fixé de gré à gré ou à dire d'experts, ainsi qu'il est indiqué en l'article 65 de la loi du 21 avril 1810 pour les exploitations de minières de fer.

Art. 21. En cas de contestation entre plusieurs maîtres de forges, relativement à leur approvisionnement en minerai, il sera statué par le préfet, conformément à l'article 64 de la même loi.

Décret du Président de la République, en date du 1er décembre 1851, *qui autorise les héritiers* GENDARME *à maintenir en activité un patouillet pour la préparation du minerai de fer établi au lieu dit* LA LOBBE, *sur le ruisseau du* DONJON, *commune de* VENDRESSE (Ardennes).

Patouillet, à Vendresse.

Décret du Président de la République, en date du 11 *décembre* 1851 (1), *portant que la tarification établie par le décret du* 5 *novembre* 1851 *n'est applicable qu'au borax natif.*

Le Président de la République,

Sur le rapport du ministre de l'agriculture et du commerce;

Vu l'article 34 de la loi du 17 décembre 1814;

Vu le décret du 5 novembre dernier, qui modifie la taxe d'entrée du borax brut et du borax mi-raffiné;

Considérant que cette modification concerne uniquement le borax natif, à l'exclusion du borax artificiel,

Décrète :

(1) *Voir* ci-après, p. 776, la circulaire transmissive du 24 déc. 1851.

Art. 1er. Les dispositions du décret du 5 novembre 1851, relatives au régime du borax, ne sont applicables qu'au borax natif.

Art. 2. Le ministre de l'agriculture et du commerce et le ministre des finances sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Personnel. — Corps des mines.

Décret du Président de la République, en date du 24 décembre 1851 (1), portant organisation du corps des mines.

Le Président de la République,

Sur le rapport du ministre des travaux publics,

Vu la disposition de la loi du 5 juillet 1850, ainsi conçue :

Des règlements d'administration publique détermineront les conditions d'admission et d'avancement pour tous les services publics où ces conditions ne sont pas réglées par une loi ;

Le conseil d'État entendu,

Décrète :

TITRE PREMIER.

Division du service.

Art. 1er. Le service des mines se divise ainsi qu'il suit :

Service ordinaire,

Service extraordinaire,

Services détachés.

Art. 2. Le service ordinaire comprend tous les services permanents ; il se subdivise en :

Service des arrondissements minéralogiques,

Services spéciaux,

Services divers.

Le service des arrondissements comprend l'instruction des affaires et la surveillance des mines, minières, carrières, tourbières et usines minéralurgiques, dans la circonscription des arrondissements et sous-arrondissements minéralogiques des ingénieurs, ainsi que la surveillance des appareils à vapeur, dans les départements de leur résidence et les départements voisins où ils seraient appelés à l'exercer par le ministre des travaux publics.

---

(1) *Voir* ci-après, p. 779, la circulaire transmissive du 10 janv. 1852.

Les services spéciaux sont ceux qui sont distraits du service des arrondissements, tels que la direction des chemins de fer non concédés, la surveillance et le contrôle des chemins de fer concédés, le service des appareils à vapeur du département de la Seine; la direction des mines, minières ou tourbières domaniales ou communales, lorsque ce service ou cette direction sont confiés à un ingénieur autre que celui de l'arrondissement ou sous-arrondissement minéralogique.

Les services divers comprennent le secrétariat du conseil général des mines, les bureaux de l'administration centrale, l'École nationale des mines de Paris, les Écoles des mineurs de Saint-Étienne et des maîtres ouvriers mineurs d'Alais, et tous autres services rétribués sur le budget des travaux publics qui ne rentrent ni dans le service d'arrondissements ni dans les services spéciaux définis ci-dessus.

Art. 3. Le service extraordinaire comprend la direction de recherches, l'exploitation temporaire des mines, minières ou carrières au compte de l'État, des départements ou communes; les études géologiques des terrains, les topographies souterraines, les missions scientifiques ou industrielles et tous autres travaux dont les ingénieurs des mines peuvent être temporairement chargés.

Art. 4. Les services détachés comprennent tous les services qui, n'étant pas rétribués sur le budget des travaux publics, sont ou peuvent être confiés aux ingénieurs des mines, tels que :

Le service des mines en Algérie et dans les colonies;

Le service de la consolidation des carrières sous la ville de Paris et autres villes;

Le service des eaux minérales;

Les missions à l'étranger pour études scientifiques, industrielles ou commerciales, qui seraient conférées par le ministre des affaires étrangères, de l'agriculture et du commerce, de l'intérieur, des finances ou de la marine.

Sont également considérés comme appartenant au service détaché, les ingénieurs temporairement attachés en qualité de directeur, professeur ou répétiteur, à l'enseignement de l'École polytechnique et des autres écoles spéciales du gouvernement.

TITRE II.

Des grades, des classes et de l'avancement.

CHAPITRE PREMIER.

Des grades.

Art. 5. § 1er. Les grades, dans le corps des ingénieurs des mines, sont fixés ainsi qu'il suit :

Inspecteur général de 1re classe ;
Inspecteur général de 2e classe ;
Ingénieur en chef ;
Ingénieur ordinaire ;
Élève ingénieur.

§ 2. Le grade d'ingénieur en chef se divise en deux classes, celui d'ingénieur ordinaire en trois classes, et celui d'élève ingénieur en deux classes.

Art. 6. § 1er. Le traitement des ingénieurs des mines est fixé ainsi qu'il suit :

Inspecteurs généraux	de 1re classe	12.000 fr.
	de 2e classe	9.000
Ingénieurs en chef	de 1re classe	6,000 / 5,000
	de 2e classe	4,500
Ingénieurs ordinaires	de 1re classe	3.000
	de 2e classe	2.500
	de 3e classe	1.800
Élèves ingénieurs	à l'École	1.200
	en mission	1.800

§ 2. Le traitement des ingénieurs en chef de 1re classe ne peut être porté au maximum de 6.000 francs qu'après jouissance du traitement minimum pendant au moins deux ans. Le nombre des ingénieurs en chef auxquels ce maximum est alloué ne peut excéder le cinquième de l'effectif de la 1re classe.

§ 3. En outre du traitement ci-dessus déterminé, les ingénieurs des mines reçoivent :

1° Des allocations annuelles réglées par le ministre et destinées à les couvrir de leurs frais et loyer de bureau ;

2° Une indemnité pour leurs frais de tournées ordi-

naires, laquelle est déterminée par le ministre, à la fin de chaque année, à raison des tournées effectives dont ils auront justifié.

§ 4. Les honoraires et frais de déplacement qui seront dus aux ingénieurs des mines pour les travaux dont ils auront été chargés, soit pour le compte des départements, des communes ou d'associations territoriales, soit pour l'instruction d'affaires où leur intervention est à la fois requise dans un intérêt général et dans un intérêt particulier, seront réglés par un décret spécial.

§ 5. Un arrêté ministériel déterminera les indemnités auxquelles ils auront droit en cas de tournées extraordinaires ou de changements de destination ordonnées dans l'intérêt du service.

CHAPITRE II.

Des cadres.

Art 7. § 1er. Le cadre du corps des ingénieurs des mines se divise en :

Cadre du service ordinaire ou permanent,
Cadre du service extraordinaire ou éventuel,
Cadre des services détachés,
Cadre de non-activité.

§ 2. Le cadre du service ordinaire ne peut être modifié que par décret.

§ 3. Le cadre du service extraordinaire peut être modifié, chaque année, par le ministre, suivant les besoins du service.

§ 4. Le cadre des services détachés est réglé par le ministre des travaux publics, d'après la demande des ministres sous l'autorité desquels doivent se trouver placés les ingénieurs en service détaché.

§ 5. Le cadre de non-activité comprend tous les ingénieurs sortis, à divers titres, de l'activité, conformément aux dispositions du présent décret.

Art. 8. L'effectif des cadres du service ordinaire et du service extraordinaire est réglé ainsi qu'il suit.

DÉSIGNATION des GRADES ET DES CLASSES.	GRADE permanent ou ordinaire		CADRE éventuel ou extraordinaire		TOTAL des services ordinaires ou extraordinaires	
	par classe.	par grade.	par classe.	par grade.	par classe.	par grade.
Inspecteurs généraux :						
1re classe.	»	3	»	»	»	3
2e classe.	»	5	»	»	»	5
Ingénieurs en chef :						
1re classe.	13	27	»	1	14	28
2e classe.	14		»	»	14	
Ingénieurs ordinaires :						
1re classe.	19	61	»	»	19	61
2e classe.	30		»	»	30	
3e classe.	12		»	»	12	
Élèves.	»	15	»	»	»	15
Totaux.	. . . . .	111	. . . . .	1	. . . . .	112

CHAPITRE III.

Des nominations et de l'avancement.

Art. 9. Les élèves ingénieurs des mines continueront à être recrutés parmi les élèves de l'École polytechnique qui auront rempli les conditions exigées par les règlements organiques de cette école.

Art. 10. § 1er. Le grade d'ingénieur ordinaire de troisième classe est conféré aux élèves ingénieurs qui ont complété leurs études et satisfait aux conditions exigées par les règlements de l'école d'application des mines.

§ 2. Les ingénieurs ordinaires de deuxième classe sont pris parmi les ingénieurs ordinaires de troisième classe ayant au moins deux ans de service en cette qualité.

§ 3. Les ingénieurs ordinaires de première classe sont pris parmi les ingénieurs de deuxième classe ayant au moins deux ans de service en cette qualité.

Art. 11. § 1er. Le grade d'ingénieur en chef de deuxième classe ne peut être accordé qu'aux ingénieurs ordinaires de première classe ayant au moins deux ans de service en cette qualité.

§ 2. Les ingénieurs en chef de première classe sont pris parmi les ingénieurs en chef de deuxième classe ayant au moins trois ans de service dans cette classe.

Art. 12. Le grade d'inspecteur général de deuxième classe ne peut être accordé qu'aux ingénieurs en chef de première classe comptant au moins trois ans de service dans cette classe.

Art. 13. Le grade d'inspecteur général de première classe ne peut être accordé qu'aux inspecteurs généraux de deuxième classe ayant au moins deux ans de service en cette qualité.

Art. 14. § 1er. La nomination aux grades a lieu par décret du Président de la République, sur la proposition du ministre des travaux publics.

§ 2. Les avancements de classe ont lieu par décision du ministre.

TITRE III.

Positions diverses de l'ingénieur.

(Congés. — Sortie des cadres.)

CHAPITRE PREMIER.

Positions diverses de l'ingénieur.

Art. 15. Les positions de l'ingénieur des mines sont:

L'activité,

La disponibilité,

Le congé illimité,

Le retrait d'emploi.

Art. 10. L'activité comprend :

§ 1er. Les ingénieurs du service ordinaire, ceux des services extraordinaires et ceux des services détachés.

§ 2. Les ingénieurs en activité ont droit au traitement et aux indemnités attachés à leur grade et à leurs fonctions.

Art. 17. § 1er. La disponibilité est prononcée d'office par le ministre.

Elle comprend les ingénieurs mis en non-activité par défaut d'emploi ou pour cause de maladie ou d'infirmités temporaires entraînant cessation de travail durant plus de trois mois.

§ 2. L'ingénieur en disponibilité a droit à la moitié du traitement affecté à son grade, sans aucun accessoire.

Il peut obtenir les deux tiers de ce traitement lorsque la disponibilité a pour cause le défaut d'emploi.

Il conserve ses droits à la retraite.

Art. 18. § 1er. Le congé illimité est accordé par le ministre sur la demande des ingénieurs qui se retirent temporairement du service de l'État pour s'attacher au service des compagnies, prendre du service à l'étranger, ou pour toute autre cause.

§ 2. L'ingénieur en congé illimité ne reçoit aucun traitement.

Le temps passé dans cette position lui est compté, mais pour une durée de cinq ans au plus, dans la liquidation de sa retraite.

Il conserve, pendant la même période, ses droits à l'avancement.

Après cinq ans, l'ingénieur en congé illimité est maintenu sur les cadres; mais le temps qu'il continue de passer en dehors du service de l'Etat ne lui compte ni pour l'avancement ni pour la retraite.

Art. 19. § 1er. Le retrait d'emploi est prononcé par le ministre comme peine disciplinaire.

§ 2. L'ingénieur en retrait d'emploi ne reçoit aucun traitement, ou reçoit seulement les deux cinquièmes de son traitement d'activité, sans aucun accessoire. Ses droits à l'avancement sont suspendus; il conserve ses droits à la retraite

Art. 20. Les droits à la retraite ne sont conservés aux ingénieurs en disponibilié, en congé illimité ou en retrait d'emploi qu'à la charge par eux de verser successivement les retenues imposées par les règlements au profit de la caisse des pensions, et calculées sur le montant intégral du traitement d'activité de leur grade.

CHAPITRE II.

Congés.

Art. 21. § 1er. Les congés temporaires ne dépassent pas trois mois Ils sont accordés par le ministre, sur l'avis des préfets, pour les ingénieurs en chef, et sur l'avis des ingénieurs en chef et des préfets pour les ingénieurs ordinaires.

§ 2. Toutefois, les préfets peuvent accorder aux ingénieurs en chef et aux ingénieurs ordinaires des permissions d'absence, dont la durée n'excède pas dix jours.

Art. 22. § 1er. Les ingénieurs qui excèdent les limites de leurs permissions ou congés, ou qui ne se rendent pas à leur poste aux époques assignées, sont privés de leurs appointements pour tout le temps de leur absence de ce même poste, sans préjudice des mesures disciplinaires qui pourraient leur être appliquées.

§ 2. Si le retard excède trois mois, l'ingénieur peut être déclaré démissionnaire.

CHAPITRE III.

Sortie des cadres.

Art. 23. La sortie des cadres a lieu:

Par la révocation,

Par la démission,

Par l'admission à la retraite.

Art. 24. § 1er. La révocation des ingénieurs est prononcée par le Président de la République, sur la proposition du ministre et de l'avis du conseil général des mines.

§ 2. Elle entraîne la perte des droits à la retraite.

Art. 25. § 1er. Les ingénieurs démissionnaires ne peuvent quitter leurs fonctions qu'après que leur démission a été acceptée par le Président de la République.

§ 2. Ils perdent leurs droits à la retraite.

Art. 26. Les ingénieurs des mines de tous grades ne peuvent devenir entrepreneurs, ni concessionnaires de travaux publics, ni prendre un intérêt quelconque dans les exploitations de mines, minières, carrières et établissements minéralurgiques situés sur le territoire de la République, sous peine d'être considérés comme démissionnaires.

Art. 27. L'admission des ingénieurs à la retraite a lieu par décret du Président de la République, sur la proposition du ministre des travaux publics.

Art. 28. Peuvent être admis à faire valoir leurs droits à la retraite les ingénieurs de tous grades ayant trente ans de service.

Art. 29. Sont nécessairement admis à faire valoir leurs droits à la retraite :

Les ingénieurs ordinaires âgés de soixante ans;

Les ingénieurs en chef âgés de soixante-deux ans;

Les inspecteurs généraux de deuxième classe âgés de soixante-cinq ans;

Les inspecteurs généraux de première classe âgés de soixante et dix ans.

Pourra être maintenu, quel que soit son âge, le vice-président du conseil général des mines.

TITRE IV.

Agents secondaires ou gardes-mines.

Art. 30. Les ingénieurs des mines sont secondés, en ce qui concerne la surveillance de police des exploitations de mines, minières, carrières et tourbières, des usines et ateliers de lavage pour les minerais de fer, les levés et copies de plans superficiels et souterrains, la surveillance de police des appareils à vapeur et du matériel des chemins de fer, etc., par des agents désignés sous le titre de gardes-mines.

Art. 31. Les gardes-mines résident au point le plus central des établissements qu'ils sont chargés de surveiller. Le lieu de leur résidence est fixé par le ministre, d'après l'avis des ingénieurs.

Art. 32. Les gardes-mines sont divisés en cinq classes. Leur traitement est fixé ainsi qu'il suit :

Gardes-mines de	1re classe.	2.000 fr. par an.
—	2e classe.	1.800 —
—	3e classe.	1.500 —
—	4e classe.	1.200
—	5e classe.	900 —

Ils reçoivent, en outre, suivant la nature de leur service, des frais de tournées, fixés par un règlement particulier.

Art. 33. Le cadre des gardes-mines, tant du service ordinaire que du service extraordinaire ou éventuel, est fixé à soixante et quinze agents.

Les gardes-mines sont répartis, dans chaque classe, d'après les proportions ci-après :

Gardes-mines de	1re classe.	1/10 de l'effectif total.
—	2e classe.	1/10 —
—	3e classe	3/10 —
—	4e classe.	3/10 —
—	5e classe	2/10 —

Art. 34. Les gardes-mines sont pris, autant que possible, parmi les maîtres mineurs, gouverneurs ou directeurs de mines, les contre-maîtres d'ateliers, d'usines ou de manufactures, et les élèves des écoles professionnelles, qui justifieront de leur aptitude dans les formes ci-après déterminées.

Ils sont nommés par le ministre.

Art. 35. Nul ne peut être nommé garde-mines de cinquième classe s'il n'a été déclaré admissible à la suite d'examens, et s'il n'est Français, âgé de vingt et un ans au moins et de trente ans au plus.

Les militaires porteurs d'un congé régulier sont, par exception, admis à concourir jusqu'à l'âge de trente-cinq ans.

Art. 36. Les examens pour l'emploi de garde-mines sont passés devant une commission composée d'un ingénieur en chef et de deux ingénieurs ordinaires des mines, désignés à cet effet.

La commission siége aux lieux et aux époques qui sont fixés, à raison des besoins du service, par décision du ministre, insérée au *Moniteur* deux mois avant le jour fixé pour l'ouverture des examens.

Art. 37. Les demandes d'admission à l'examen sont adressées au ministre des travaux publics; elles doivent être accompagnées :

1° De l'acte de naissance du candidat;

2° De toutes les attestations propres à établir ses antécédents et sa moralité.

Art. 38. Les connaissances exigées des candidats sont:

Une écriture courante, nette et très-lisible; la langue française; l'arithmétique et le système légal des poids et mesures; la géométrie élémentaire; le levé des plans et le dessin; les notions les plus essentielles sur les machines et sur les appareils à vapeur.

Art. 39. Les élèves brevetés de l'école nationale des mines de Paris et de l'école des mineurs de Saint-Etienne, qui satisfont d'ailleurs à la condition d'âge fixée au § 1er de l'article 35, peuvent être nommés directement à l'emploi de garde-mines de cinquième classe, sans subir l'examen prescrit par l'article précité.

Art. 40. Aucun avancement de classe ne peut être accordé aux gardes-mines qu'après deux années, au

moins, passées dans la classe immédiatement inférieure.

Art. 41. Les dispositions relatives aux positions diverses et aux congés des ingénieurs des mines sont applicables aux gardes-mines.

Art. 42, § 1er. Les gardes-mines sont révoqués, déclarés démissionnaires ou admis à la retraite par décision du ministre.

§ 2. La révocation est prononcée sur le rapport du chef de service et l'avis de l'inspecteur général de la division.

Disposition transitoire.

Art. 43. Le délai de cinq ans mentionné à l'article 18 ne courra qu'à partir de la mise en vigueur du présent décret.

Disposition générale.

Art. 44. Sont abrogés tous décrets et réglements antérieurs en ce qu'ils ont de contraire au présent décret.

Mines d'anthracite de Combe-Gillarde.

Décret du Président de la République, en date du 30 décembre 1851, qui accorde au sieur François Milanta *la concession des mines d'anthracite situées dans la commune du* Freney, *arrondissement de* Grenoble (Isère).

(Extrait.)

Art. 2. Cette concession, qui prendra le nom de *concession de Combe-Gillarde*, est limitée, conformément au plan annexé au présent décret, ainsi qu'il suit, savoir :

Au Nord, par une ligne droite partant du point de jonction, marqué en B sur le plan, du chemin d'Aurisan-Gua et du chemin des Granges-d'Outres, et allant joindre l'angle sud de la grange Beaucert, point A (ladite ligne formant la limite sud de la concession Freney instituée le 12 juin 1838) ;

A l'Est, par une ligne brisée, menée du point A ci-dessus défini passant par la grange Oddoux, point K, par la Croix-de-Trière, point G, et allant aboutir au point de jonction F de la Romanche avec la ligne séparative des communes d'Auris et du Freney ;

Au Sud-Ouest, par ladite ligne séparative des com-

munes d'Auris et du Freney, depuis le point F ci-dessus indiqué jusqu'à sa rencontre en H avec le chemin de Fond-Bernard, puis à partir de là par une ligne droite joignant la fontaine de Fond-Bernard, point D;

A l'Ouest et au *Nord-Ouest*, par une ligne brisée partant dudit point D passant par l'intersection du chemin d'Auris au Gua avec le ruisseau de Combe-Gillarde, point C, et menée de ce dernier point au point de départ B.

Lesdites limites renfermant une étendue superficielle de un kilomètre carré, quatre hectares.

Art. 4. Les droits attribués aux propriétaires de la surface, par les articles 6 et 42 de la loi du 21 avril 1810, sur le produit des mines concédées, sont réglés à une rente annuelle de cinq centimes par hectare de terrain compris dans le périmètre de la concession.

Ces dispositions seront applicables nonobstant les stipulations contraires qui pourraient résulter de conventions antérieures entre le concessionnaire et les propriétaires de la surface.

Cahier des charges de la concession des mines d'anthracite de Combe-Gillarde.

(Extrait.)

Art. 2. Pour continuer l'exploitation des gîtes qui sont connus dans la concession, le concessionnaire ouvrira au-dessus des affleurements des galeries qui seront dirigées perpendiculairement à la direction des couches et qui, après les avoir atteintes, serviront à la fois à l'extraction des combustibles et à l'écoulement. Ces galeries seront boisées suivant les règles de l'art, partout où il en sera besoin, et menées avec la pente uniquement nécessaire pour l'écoulement des eaux. Leur emplacement ainsi que leurs dimensions en largeur et en hauteur seront fixés par le préfet, sur le rapport des ingénieurs des mines, le concessionnaire ayant été entendu.

Décret du Président de la République, en date du 30 *septembre* 1851, *qui accorde aux sieurs* Christophe Ponce, Jean-Pierre *et* Louis Pierre *la concession de mines* Mines d'anthracite du Maillot.

*d'anthracite situées dans la commune d'*Auris, *commune de* Grenoble (Isère).

(Extrait.)

Art. 2. Cette concession, qui prendra le nom de *concession du Maillot*, est limitée, conformément au plan annexé au décret qui institue la concession de Combe-Gillarde, ainsi qu'il suit, savoir :

Au Nord, par une ligne droite menée de la fontaine de Fond-Bernard, point D du plan, au point d'intersection H du chemin de Fond-Bernard avec ligne séparative des communes d'Auris et du Freney ;

A l'Est, par ladite ligne séparative des communes d'Auris et du Freney, depuis le point H ci-dessus défini jusqu'à la rencontre en F avec la rive droite de la Romanche ;

Au Sud, par la rive droite de la Romanche, depuis le point F ci-dessus indiqué jusqu'à l'embouchure E du ruisseau de Combe-Gillarde dans la Romanche ;

A l'Ouest, par une ligne droite menée dudit point E au point de départ D.

Lesdites limites renfermant une étendue superficielle d'un kilomètre carré, un hectare.

Art. 3. Dans le délai de trois mois à dater de la notification du décret de concession, les concessionnaires adresseront au préfet du département un plan, en triple expédition, de leur concession du *Maillot*, telle qu'elle est marquée sur le plan annexé au décret portant concession des mines de *Combe-Gillarde.*

L'une des expéditions dudit plan sera jointe au décret de concession des mines du Maillot; la seconde sera déposée dans les archives du ministère des travaux publics, et la troisième dans les archives de la préfecture du département de l'Isère.

Art. 5. Les droits attribués aux propriétaires de la surface, par les articles 6 et 42 de la loi du 21 avril 1810, sur le produit des mines concédées, sont réglés à une rente annuelle de cinq centimes par hectare de terrain compris dans le périmètre de la concession.

Ces dispositions seront applicables nonobstant les stipulations contraires qui pourraient résulter de conven-

tions antérieures entre les concessionnaires et les propriétaires de la surface.

Cahier des charges de la concession des mines d'anthracite du Maillot.

(Extrait.)

Art. 2. (*Ut suprà*, p. 737.)

Décret du Président de la République, en date du 30 *décembre* 1851, *qui autorise le sieur* Joseph Langon *à transformer en aciérie la taillanderie qu'il possède au hameau de* Jures, *sur la rive droite du ruisseau du même nom, en amont de la route nationale* n° 90, *commune de* Tullins (Isère), *laquelle usine est mise en mouvement par une dérivation de la* Jures, *dont les eaux, détournées de leur lit naturel à* 825 *mètres en amont de l'axe de la route, y rentrent immédiatement au-dessus de ladite route.* Aciérie, au hameau de Jures, commune de Tullins.

Cette usine sera composée ainsi qu'il suit, savoir :

Un feu d'affinerie pour la fabrication de l'acier, alimenté au charbon de bois;

Un feu de chaufferie à la houille;

Les machines soufflantes et de compression nécessaires au roulement de l'établissement.

Décret du Président de la République, en date du 30 *décembre* 1851, *qui autorise le sieur* Pierre-Alexandre-Charles-Théodore d'Hausen, *propriétaire des forges de* Hombourg, *arrondissement de* Sarreguemines (Moselle), 1° *à transférer dans le moulin à deux tournants qu'il possède à* Hombourg-Bas, *et à la place de l'un des tournants de ce moulin, un des deux ordons de martinet à deux marteaux de sa forge de* Hombourg-Haut ; 2° *à construire dans ledit moulin un foyer de chaufferie et un four à réverbère de chaufferie;* 3° *à maintenir en activité le second tournant de son moulin à farine, et à maintenir également les changements qu'il a effectués dans les canaux de fuite et de décharge des eaux.* Martinet, foyer de chaufferie, four à réverbère de chaufferie, etc., à Hombourg-Bas.

Lavoirs à bras, à Lurcy-le-Bourg.

Décret du Président de la République, en date du 30 *décembre* 1851, *qui autorise le sieur* DE SAULIEU, 1° *à maintenir en activité neuf lavoirs à bras pour la préparation du minerai de fer, situés dans la commune de* LURCY-LE-BOURG (Nièvre); 2° *à établir dans cette commune six autres lavoirs du même genre.*

Lavoir à bras de l'Etang, commune de Poix.

Décret du Président de la République, en date du 30 *décembre* 1851, *qui autorise les sieurs* MOREL, *maîtres de forges à* CHARLEVILLE, *à maintenir en activité le lavoir à bras pour la préparation du minerai de fer qu'ils possèdent au lieu dit* L'ETANG, *sur le ruisseau de ce nom, commune de* Poix (Ardennes).

Lavoir à bras, commune de Nouart.

Décret du Président de la République, en date du 30 *décembre* 1851, *qui autorise le sieur* LALLEMAND-MARÉCHAL, *propriétaire des forges de* STENAY (Meuse), *à maintenir en activité un lavoir à bras pour la préparation du minerai de fer, établi sur le cours d'eau de la fontaine* ALLARD, *dans un terrain qu'il tient à bail de la commune de* NOUART (Ardennes), *au lieu dit* LE PORT-JÉRÉMIE.

(EXTRAIT.)

Art. 2. La permission présentement accordée cessera à l'expiration du bail consenti par la commune de Nouard, à moins que ce bail n'ait été renouvelé ou que le permissionnaire ne soit maintenu en possession du terrain occupé, par application de l'article 80 de la loi du 21 avril 1810.

CIRCULAIRES ET INSTRUCTIONS

ADRESSÉES A MM. LES PRÉFETS, A MM LES INGÉNIEURS DES MINES, ETC.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1851.

A M. le Préfet d

Paris, le 24 juin 1851.

Durée du travail dans les manufactures et usines.

Monsieur le préfet, la loi du 9 septembre 1848, qui limite à douze heures la durée du travail effectif dans les manufactures et usines, a confié au gouvernement le soin de déterminer par voie de règlement d'administration publique les exceptions qu'il serait reconnu nécessaire d'apporter à cette disposition générale, à raison de la nature des industries ou des cas de force majeure : un décret est intervenu, le 17 mai dernier, pour remplir ce vœu de la loi (1).

Je dois d'abord vous rappeler, monsieur le préfet, que la limitation du travail à douze heures n'est applicable qu'aux manufactures et usines : les simples ateliers ne sont pas compris dans le domaine de la loi. Cette distinction s'établira d'après la pratique industrielle, et, en cas de difficultés, c'est aux tribunaux qu'il appartiendra naturellement de statuer.

Les exceptions se divisent en deux catégories. Les unes sont absolues et s'appliquent aux travaux industriels qui non-seulement ne peuvent se renfermer dans la limite commune, mais dont la nature, en outre, ne comporte pas une durée précise. Tel est le travail des ouvriers em-

(1) Annales des mines, 4e série, t. XIX, p. 766.

ployés à la conduite des fourneaux, étuves. sécheries ou chaudières à débouillir, lessiver ou aviver; le travail des chauffeurs attachés aux machines à vapeur, des ouvriers chargés d'allumer les feux avant l'ouverture des ateliers et des gardiens de nuit.

Des considérations d'intérêt public, dont il est facile de saisir le caractère, ont fait également ranger dans la catégorie des exceptions absolues la mouture des grains par un procédé quelconque et la fabrication des projectiles de guerre. On y a joint la fonte, l'affinage, l'étamage, la galvanisation des métaux, qui ne souffrent pas d'interruption une fois qu'une opération est commencée. Les travaux de décatissage, la fabrication et la dessiccation de la colle-forte, se trouvent dans des conditions pareilles. La fabrication des savons entraîne des soins de chauffage qui exigent une surveillance de nuit, et dont un même ouvrier est communément chargé. Les occasions de travail extraordinaire sont devenues tellement fréquentes dans les imprimeries typographiques ou lithographiques, qu'il serait impossible d'imposer ici la limite commune. Enfin, sont admis à jouir d'une exception absolue à la limitation fixée par l'article 1er de la loi du 9 septembre 1848, les travaux que rend immédiatement nécessaires un accident arrivé à un moteur, à une chaudière, à l'outillage ou au bâtiment même d'une usine, ou tout autre cas de force majeure. Il importe, en effet, d'abréger autant que possible un chômage funeste à tous les intérêts, et plus encore à ceux des ouvriers qu'à ceux des chefs d'établissement. C'est dans le même ordre d'idées qu'a été précisée l'exception relative au nettoiement des machines à la fin de la journée : il y avait ici à tenir compte d'un usage à peu près général, qui devra servir dans chaque localité à fixer le sens de ces mots : *Nettoiement de machines.*

La seconde catégorie d'exceptions comprend les travaux industriels auxquels il est possible d'assigner, au delà de la limite de douze heures, un terme fixe. Ainsi le décret accorde une heure supplémentaire pour le lavage et l'étendage des étoffes teintes ou imprimées, ces travaux devant s'exécuter immédiatement après la teinture ou l'impression, et au fur et à mesure de ces opérations principales. L'exception est portée à deux heures pour la

fabrication du sucre, le raffinage, la fabrication des produits chimiques, qui exigent une suite d'opérations dépendantes les unes des autres. Quant aux teintureries, aux imprimeries sur étoffes, à l'apprêt et au pressage, il a été tenu compte de l'alternative de chômage et d'excessive activité à laquelle ces industries sont, quant à présent, assujetties par les changements de saison, les modes, les occasions de vente à l'extérieur; il leur sera permis en conséquence de prolonger la journée de deux heures pendant cent vingt jours ouvrables par an, au choix des chefs d'établissement. Toutefois, ce sera à la condition de vous faire connaître préalablement, par l'intermédiaire du maire, l'intention de profiter de cette facilité et les périodes pendant lesquelles la prolongation devra avoir lieu.

En dehors de ces exceptions, la durée du travail effectif dans les manufactures et usines ne doit point excéder douze heures sur vingt-quatre; mais il s'agit, bien entendu, du travail d'un même ouvrier. Rien ne s'oppose à l'organisation des relais, qui reste dans le droit commun. Il n'y avait pas lieu de ranger cette faculté parmi les exceptions, parce que la loi n'avait pas dérogé sur ce point aux principes ordinaires. Tout chef d'établissement est donc libre, comme par le passé, de tenir ses ateliers en activité aussi longtemps qu'il le juge à propos, pourvu que le travail soit organisé par séries, et que chaque ouvrier ne soit point occupé plus de douze heures sur vingt-quatre.

Je me plais à croire que le nouveau décret, qui détermine d'une manière précise les exceptions reconnues nécessaires, vous rendra plus facile l'application de la loi du 9 septembre 1848 : cette loi ne confère à l'autorité administrative la faculté d'admettre aucune exception en dehors de celles qui sont spécifiées par le règlement d'administration publique.

Il est d'une extrême importance, monsieur le préfet, que l'application de la loi soit partout uniforme. Une tolérance partielle aurait pour effet de troubler les conditions ordinaires de la concurrence, et porterait préjudice à des intérêts légitimes.

Veuillez m'accuser réception de cette circulaire.

Recevez, monsieur le préfet, l'assurance de ma considération très-distinguée.

Le ministre de l'agriculture et du commerce,
Signé BUFFET.

M. le Préfet d

Paris, le 4 juillet 1851.

Loi du 13 brumaire an VII sur le timbre. — Marche à suivre pour affranchir du timbre les pièces concernant les dépenses qui n'excèdent pas dix francs.

Monsieur le préfet, d'après la nomenclature faisant suite au règlement de comptabilité du 16 septembre 1843, les pièces à produire aux payeurs pour la justification du payement des fournitures consistent en *factures* ou *mémoires* timbrés, quittancés par les fournisseurs, soit que le payement ait lieu au moyen de mandats ou d'ordonnances délivrées au nom des ayants droit, soit qu'il ait lieu par l'intermédiaire d'un régisseur.

Jusqu'à présent, les factures ou mémoires quittancés avaient été considérés, dans le service des ponts et chaussées, comme de véritables quittances, et, à ce titre, ces pièces avaient été, par application de l'article 16 de la loi du 13 brumaire an VII, affranchies de la formalité du timbre lorsqu'elles avaient pour objet des dépenses n'excédant pas dix francs.

M. le ministre des finances a pensé que cette interprétation de la loi n'était pas fondée, et, en conséquence, par une décision en date du 6 décembre dernier, il a déclaré passible du timbre tout mémoire (ou facture) acquitté ou non, et quel qu'en soit le montant.

L'application de la formalité du timbre aux pièces concernant des dépenses de dix francs et au-dessous a soulevé des objections de la part de plusieurs ministres ordonnateurs. Il paraît, en effet, exorbitant de faire supporter les frais du timbre à des sommes aussi minimes.

M. le ministre des finances a reconnu la justesse des observations qui lui ont été présentées à cet égard, et, pour obvier aux inconvénients qui résulteraient de l'application rigoureuse de la loi du 13 brumaire an VII, il a adopté un moyen d'affranchir du timbre les pièces concernant les dépenses n'excédant pas dix francs, sans déroger toutefois au texte de la loi.

Ce moyen consiste :

Soit à supprimer le mémoire ou la facture, en donnant dans le mandat de payement le détail des fournitures ou des travaux ;

Soit à produire, au lieu du mémoire ou de la facture, *une quittance* de la partie intéressée, contenant le détail des fournitures faites ou des travaux exécutés.

Dans les deux cas, le mandat et la quittance seront exempts de timbre.

Lorsque le payement aura lieu au moyen d'un mandat délivré au nom du fournisseur, on pourra employer l'un ou l'autre des deux modes qui viennent d'être indiqués.

Mais lorsque le payement s'effectuera au moyen de fonds remis à titre d'avance à un régisseur, le second mode sera seul praticable, puisqu'il n'y aura pas lieu de délivrer un mandat qui puisse contenir le détail de la dépense. Dans ce cas, le régisseur devra produire pour la justification du payement une quittance détaillée du fournisseur.

Les quittances détaillées qui tiendront lieu des mémoires ou factures des fournisseurs devront être établies dans la forme du modèle joint à la présente circulaire.

Je ferai remarquer que ces nouvelles dispositions doivent modifier les indications contenues dans la neuvième des observations générales placées en tête de la nomenclature annexée au règlement du 16 septembre 1843, ainsi que cette nomenclature elle-même, en ce qui concerne les justifications à produire pour le payement des fournitures.

Je vous prie, monsieur le préfet, d'inviter MM. les ingénieurs en chef à se conformer aux mesures prescrites par la présente circulaire.

Recevez, monsieur le préfet, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Le ministre des travaux publics.

Signé P. MAGNE.

(*Voir* le Modèle ci-contre.)

MODÈLE.

MINISTÈRE des TRAVAUX PUBLICS.

Ponts-et-Chaussées.

DÉPARTEMENT d

ARRONDISSEMENT de M. l'Ingr

ANNÉE 185 .

SOMME PAYÉE.

QUITTANCE

POUR DÉPENSES N'EXCÉDANT PAS DIX FRANCS.

(Circulaire du 4 juillet 1851.)

TRAVAUX PAR RÉGIE.

(A)

QUITTANCE de la somme de (B) reçue d (c) pour les (D) ci-après :

(E)

le 185 .

(F)

Certifié et inscrit sous le n° du journal par le conducteur des Ponts-et-Chaussées soussigné, chargé de la surveillance des travaux.

A le 185 .

Vérifié par l'ingénieur ordinaire soussigné :

A le 185 .

Vu par l'ingénieur en chef:

(A) Indication du service et de l'entreprise.
(B) Indication en toutes lettres de la somme à payer.
(C) Indication du nom du régisseur, si le payement n'est pas direct.
(D) Indiquer la nature de la dépense.
(E) Détail des objets fournis ou des travaux exécutés.
(F) Signature de la partie prenante.

Service des mines.

Propositions à soumettre aux conseils généraux.

M. le Préfet d

Paris, le 1er août 1851,

Monsieur le préfet, les conseils généraux vont bientôt s'assembler; parmi les questions dont ils pourront avoir à s'occuper, il en est peu de plus intéressantes que celles qui se rattachent à la recherche et à l'exploitation des substances minérales, à l'amélioration et au développement de l'industrie métallurgique, et déjà, sans doute,

monsieur le préfet, vous avez examiné, de concert avec MM. les ingénieurs des mines, les propositions que vous auriez sous ce rapport à soumettre au conseil général de votre département.

Je crois devoir, dans tous les cas, appeler votre attention sur cet objet important, et je vous prie, dès que la session du conseil général sera terminée, de vouloir bien me faire connaître les délibérations qu'il aura prises sur les points qui touchent au service des mines.

Recevez, monsieur le préfet, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Le ministre des travaux publics,
Signé P. MAGNE.

A M.

Paris, le 2 août 1851.

Droits d'entrée et de sortie. — Tarification du sable à fabriquer le verre et la faïence. Suppression du droit de sortie de la craie.

Le sable à fabriquer le verre et la faïence a été, jusqu'à présent, assimilé aux cailloux à faïence.

Un décret du 17 juillet dernier, inséré au Bulletin des lois du même mois, n° 421, fixe la taxe d'entrée de ce produit à un centime par 100 kilogrammes.

Par un second décret du 24 juillet, inséré au même Bulletin, le droit de sortie de la craie se trouve supprimé.

Je prie les directeurs d'informer de ces dispositions le service et le commerce.

Une ampliation des décrets des 17 et 24 juillet (1) est transmise avec la présente.

Le directeur de l'administration des douanes,
Th^re GRÉTERIN.

A M.

Paris, le 18 septembre 1851.

Admissions temporaires. — Transmission d'un décret du 8 septemb. 1851, relatif aux fontes brutes destinées à fabriquer des machines ou mécaniques pour la réexportation.

Un décret du 8 de ce mois, rendu en vertu de l'article 5 de la loi du 5 juillet 1836 et dont je joins une ampliation à la présente (2), autorise l'admission temporaire, en franchise de droits, des fontes brutes destinées à servir à la fabrication des machines ou mécaniques pour l'étranger.

---

(1) Voir les décrets à leur date (17 et 24 juillet 1851), *suprà*, p. 701.
(2) Voir le décret à sa date (8 septembre 1851), *suprà*, page 711.

Suivant les dispositions de l'article 1er, le bénéfice de ce décret sera exclusivement applicable aux fontes importées soit par la frontière de terre, soit par mer, sous le pavillon français ou sous le pavillon du pays de production, et, dans ce dernier cas, à celles seulement qui seront accompagnées de certificats d'origine authentiques délivrés par l'agent consulaire de France au port d'embarquement et, à défaut, par les autorités locales.

D'après l'article 2, l'importateur devra s'engager, par une soumission valablement cautionnée, à réexporter ou à réintégrer en entrepôt, dans un délai de six mois au plus, des machines ou mécaniques d'un poids égal au poids de la fonte brute admise temporairement.

L'article 3 dispose que les fontes pour lesquelles on réclamera le bénéfice du décret précité ne pourront être importées que par les ports d'entrepôt réel ou par les bureaux ouverts à l'entrée des marchandises taxées à plus de 20 francs par 100 kilogrammes, et que la réexportation des objets fabriqués avec ces fontes devra pareillement être effectuée par ces mêmes bureaux.

Enfin, il est réglé par l'article 4 que les soustractions ou manquants constatés par le service des douanes donneront lieu à l'application des pénalités édictés par l'art. 5 de la loi du 5 juillet 1836, à l'exception toutefois des déficit qui seront reconnus provenir exclusivement du déchet de main-d'œuvre, lesquels ne seront soumis qu'au payement du simple droit d'entrée afférent à la matière brute.

J'invite les directeurs à donner les ordres nécessaires pour l'exécution de ces dispositions et à les porter à la connaissance du commerce.

Le directeur de l'administration des douanes,
Thre Gréterin.

Secours à accorder aux ouvriers des travaux publics, en cas d'accidents.

M. le Préfet d

Paris, le 22 octobre 1851.

Monsieur le préfet, un arrêté de l'un de mes prédécesseurs, en date du 15 décembre 1848 (1), a déterminé un ensemble de mesures ayant pour but d'assurer aux

(1) Annales des mines, 4e série, t. XIV, p. 508.

ouvriers des travaux publics, et, le cas échéant, à leurs familles, les secours dont ils pourraient avoir besoin par suite d'accidents survenus, ou de maladies contractées dans les travaux.

J'ai l'honneur de vous faire part de modifications que j'ai cru devoir apporter en deux points aux dispositions de cet arrêté.

En premier lieu, aux termes de l'article 3, « les ouvriers » atteints de blessures ou de maladies occasionnées par » les travaux, après avoir reçu sur place les premiers » secours de l'art, doivent être soignés gratuitement à » l'hôpital ou à domicile ; » l'article 4 dispose, en outre, que « pendant la durée de l'interruption obligée du tra- » vail, qui devra être constatée par un certificat du mé- » decin, ces ouvriers recevront la moitié du salaire qu'ils » auraient pu gagner s'ils avaient continué à travailler. »

On a demandé si l'allocation prévue par l'article 4 devait bien être accordée aux ouvriers soignés à l'*hôpital*, et l'on a fait remarquer que, s'il en était ainsi, l'arrêté ferait à ces ouvriers une situation plus avantageuse qu'à ceux qui sont soignés *à domicile*, ces derniers ayant à supporter des charges qui n'incombent pas aux premiers.

Les ouvriers soignés gratuitement à l'hôpital y reçoivent ce dont ils ont personnellement besoin et obtiennent ainsi tous les secours auxquels ils peuvent raisonnablement prétendre pour eux-mêmes : le demi-salaire payé dans cette position à l'ouvrier isolé constituerait, dès lors, un véritable abus. Mais il en serait tout autrement si l'ouvrier admis à l'hôpital avait des charges de famille : le demi salaire lui serait, en ce cas, légitimement acquis, puisqu'il y trouverait une ressource sans laquelle il ne pourrait pourvoir aux besoins des personnes qui doivent vivre de son travail.

D'après ces considérations, j'ai décidé, monsieur le préfet, que *l'allocation de moitié du salaire faisant l'objet de l'article 4 de l'arrêté du* 15 *décembre* 1848 *sera accordée aux ouvriers soignés à l'hopital, mais, dans le cas seulement où ils seront mariés ou auront des charges de famille.*

La seconde modification dont j'ai à vous entretenir porte sur le premier paragraphe de l'article 9, ainsi conçu :

« Pour assurer le service médical et le payement des

» secours, il sera opéré à l'avenir une retenue de 2 p. o/o » sur le prix de la *main-d'œuvre* des travaux adjugés à » des entrepreneurs. »

Établie exclusivement sur la valeur d'une partie des travaux, la retenue de 2 p. o/o ne peut être opérée avec l'exactitude convenable qu'au moyen de nombreuses décompositions de prix, qui exigent un long travail de la part des ingénieurs et compliquent les écritures de leur comptabilité. En appelant l'attention de l'administration sur ces inconvénients très-réels, on a fait remarquer que le prix de la main-d'œuvre entre pour moitié environ dans la valeur des travaux de la plupart des entreprises, et qu'ainsi la retenue de 2 p. o/o déterminée par l'arrêté doit, en général, donner des produits peu différents de ceux que l'on obtiendrait d'une retenue de 1 p. o/o portant sur l'ensemble de l'adjudication. La situation des entrepreneurs ne serait donc point sensiblement modifiée par la substitution de cette dernière base de calcul à celle qui se trouve prescrite aujourd'hui.

Le conseil général des ponts et chaussées ayant reconnu qu'il convenait d'opérer cette substitution, son avis m'a paru fondé de tous points, et j'ai, en conséquence, décidé que la retenue pour secours à supporter par les entrepreneurs, au lieu d'être de 2 p. o/o sur le prix de la main-d'œuvre, sera de 1 p. o/o sur la valeur de l'ensemble des travaux adjugés. Afin, d'ailleurs, que cette mesure n'entraîne dans les opérations du service aucune confusion, l'application devra en avoir lieu seulement à dater de l'ouverture de l'exercice 1852.

Je vous prie, monsieur le préfet, de m'accuser réception de la présente circulaire, dont j'adresse une ampliation à M. l'ingénieur en chef.

Recevez, monsieur le préfet, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Le ministre des travaux publics,

Signé P. MAGNE.

A M. le Préfet d

Instructions pour le règlement des usines sur cours d'eau.

Paris, le 23 octobre 1851.

Monsieur le préfet, le service hydraulique, qui fait l'objet de la circulaire d'un de mes prédécesseurs, en date du 17 novembre 1848 (1), comprend, en première ligne, l'instruction des affaires relatives à la réglementation des usines situées sur les cours d'eau.

Je viens, ainsi que l'annonçait la circulaire précitée, vous tracer, pour cette partie du service, des règles générales qui, résumant et complétant les prescriptions précédentes, apporteront dans l'instruction des affaires de ce genre une uniformité favorable à leur bonne et prompte expédition.

Toute demande relative, soit à la construction première de moulins ou usines à créer sur un cours d'eau, soit à la régularisation d'établissements anciens, soit à la modification des ouvrages régulateurs d'établissements déjà autorisés, doit vous être adressée en double expédition, dont une sur papier timbré.

S'il s'agit de la construction première d'une usine, la demande devra énoncer d'une manière distincte :

1° Les noms du cours d'eau et de la commune sur lesquels cette usine devra être établie, les noms des établissements hydrauliques placés immédiatement en amont et en aval;

2° L'usage auquel l'usine est destinée;

3° Les changements présumés que l'exécution des travaux devra apporter au niveau des eaux, soit en amont, soit en aval;

4° La durée probable de l'exécution des travaux.

Le pétitionnaire devra en outre justifier qu'il est propriétaire des rives dans l'emplacement du barrage projeté, et du sol sur lequel les autres ouvrages doivent être exécutés, ou produire le consentement écrit du propriétaire de ces terrains.

S'il s'agit de modifier ou de régulariser le système hydraulique d'une usine existante ou d'un ancien barrage, le propriétaire devra fournir autant que possible, outre les renseignements ci-dessus mentionnés, une copie des titres en vertu desquels ces établissements existent, et

(1) Annales des mines, 4e série, t. XIV, p. 640.

indiquer les noms des propriétaires qui les ont possédés avant lui.

La production de ces renseignements est nécessaire pour que l'affaire puisse être suivie ; elle rendra, en général, l'instruction plus facile et plus prompte ; et, d'ailleurs, dans l'intérêt des pétitionnaires eux-mêmes, il convient de les obliger à ne soumettre à l'Administration que des projets sérieux et dont l'exécution ne se trouve pas, dès l'origine, arrêtée par quelque insurmontable difficulté.

Première enquête. D'après l'instruction du 19 thermidor an VI, dont les dispositions, conformément à la jurisprudence du Conseil d'État, sont applicables à tous les cours d'eau, toute demande relative à l'établissement ou à la régularisation de moulin ou usine doit être soumise à une enquête préalable de vingt jours.

Lorsque vous aurez reconnu que la pétition satisfait aux conditions voulues et peut utilement être soumise aux enquêtes, un arrêté, pour la rédaction duquel vous voudrez bien vous conformer au modèle ci joint n° 1, en ordonnera le dépôt à la mairie de la commune où les travaux doivent être exécutés, et fixera le jour de l'ouverture de l'enquête.

L'arrêté sera, par les soins du maire, affiché tant à la principale porte de l'église qu'à celle de la mairie, et publié à son de caisse ou de trompe, le dimanche, à l'heure où les habitants se trouvent habituellement réunis. Il importe que l'annonce de l'enquête reçoive toute publicité, afin que les intéressés ne puissent l'ignorer, et que l'administration soit autorisée à considérer leur silence comme un acquiescement au projet du pétitionnaire.

Un registre (modèle n° 2) destiné à recevoir les observations des parties intéressées sera ouvert à la mairie de la même commune.

Si l'entreprise paraît de nature à étendre son effet en dehors du territoire de la commune, l'arrêté désignera les autres communes dans lesquelles l'enquête doit être annoncée.

Si ces communes appartiennent à plusieurs départements, l'enquête sera ordonnée par le préfet du département où se trouve le siége principal de l'établissement, et l'arrêté transmis aux préfets des autres départements pour être publié dans toutes les communes intéressées.

L'accomplissement de ces formalités sera certifié (mo-

dèle n° 2) par les maires des communes où elles auront été prescrites.

Envoi aux ingénieurs.

Lorsque vous vous serez assuré de la régularité de l'enquête, vous transmettrez les pièces à l'ingénieur en chef dans les attributions duquel le cours d'eau se trouve placé, c'est-à-dire, pour les rivières navigables ou flottables, à l'ingénieur en chef qui est préposé aux travaux de ces rivières, et pour les autres cours d'eau, à l'ingénieur en chef du service hydraulique ou du service ordinaire, suivant l'organisation du service dans votre département.

Sur les cours d'eau qui, sans être une dépendance du domaine public, servent à l'alimentation d'un canal, ou qui sont soumis à un régime particulier dans l'intérêt de la navigation ou du flottage, aucune permission ne peut être accordée sans que les ingénieurs chargés du canal ou de la navigation aient été consultés. Il convient que, dans l'examen des affaires relatives à ces cours d'eau, les ingénieurs des deux services entrent directement en conférence et procèdent conformément aux instructions qui leur ont été adressées par la circulaire du 12 juin 1850.

Comme il importe, d'ailleurs, que les usines situées sur un même cours d'eau ou au moins sur la même partie d'un cours d'eau soient réglées dans des vues d'ensemble, il peut être nécessaire qu'un seul service d'ingénieur soit chargé de toutes les usines d'un cours d'eau placé à la limite de deux départements. Vous voudrez bien me signaler les circonstances dans lesquelles il pourrait être utile de prendre des mesures de cette nature.

Instruction par l'ingénieur ordinaire.

L'ingénieur en chef renvoie toutes les pièces à l'ingénieur ordinaire, chargé du service des usines dans l'arrondissement, pour être procédé par lui à la visite des lieux et à l'instruction de l'affaire.

Visite des lieux.

L'ingénieur ordinaire, après s'être assuré que la visite des lieux peut être faite utilement, annonce à l'avance son arrivée aux maires des diverses communes intéressées, avec invitation de donner à cet avis toute publicité (modèle n° 3). Il prévient directement le pétitionnaire, les présidents des syndicats, s'il en existe sur le cours d'eau; les mariniers les plus expérimentés, s'il s'agit d'une rivière navigable ou flottable, et toutes autres personnes dont la présence lui paraît utile, et pour lesquelles

il pense que cet avertissement direct est nécessaire. Ses avis doivent être adressés de telle sorte qu'il y ait, dans tous les cas, au moins cinq jours pleins entre la date de la réception de la lettre et le jour de la visite des lieux.

L'ingénieur ordinaire procède à cette visite en présence des maires ou de leurs représentants, et de ceux des intéressés qui se sont rendus aux avertissements donnés.

Il se fait rendre compte de la position que doivent occuper les ouvrages projetés et des limites du terrain appartenant au pétitionnaire; il s'assure que la propriété des rives dans l'emplacement du barrage et du sol sur lequel les autres ouvrages doivent être assis n'est pas contestée, ou que le pétitionnaire a produit le consentement écrit du propriétaire de ces terrains.

Il rattache à un ou plusieurs repères provisoires, choisis avec soin, la hauteur des eaux en amont et en aval. S'il existe déjà des ouvrages, tels que barrages, déversoirs, pertuis, vannes de décharge, vannes motrices, il constate leurs dimensions et rapporte aux mêmes repères provisoires la hauteur des seuils, le dessus des vannes, la crête des déversoirs; enfin, il réunit tous les renseignements nécessaires pour constater et définir exactement, en ce qui touche le régime des eaux, l'état des lieux avant les changements qui doivent y être apportés.

Lorsqu'il devra résulter des travaux projetés une augmentation ou une diminution dans la hauteur des eaux, l'ingénieur procédera par voie d'expérience directe, afin de mettre les parties intéressées à même d'apprécier les conséquences de ces changements. Dans le cas où il serait impossible de faire ces expériences, il aura recours à tous autres moyens qui lui paraîtront propres à y suppléer. Lorsqu'il doit y avoir partage ou usage alternatif des eaux, il recueillera tous les renseignements nécessaires pour régler les droits de chacun.

L'ingénieur dresse, en présence du maire et des parties intéressées, un procès-verbal (modèle n° 4), dans lequel il indique, d'une manière circonstanciée, l'état ancien des lieux, les repères qu'il a adoptés, les renseignements qu'il a recueillis, les résultats des expériences qu'il a faites; il y ajoute les observations qui ont été produites, enfin il déclare qu'il sera procédé ultérieurement, s'il y a lieu, au complément des opérations. Lecture de ce

procès-verbal est donnée aux parties intéressées, qui sont invitées à le signer et à y insérer sommairement leurs observations si elles le jugent convenable. Mention y est faite des personnes qui se seraient retirées ou qui n'auraient pas voulu signer, ni déduire les motifs de leur refus.

Lorsque, dans la visite des lieux, les parties intéressées parviennent à s'entendre et font entre elles des conventions amiables, l'ingénieur doit constater cet accord dans le procès-verbal. Cette constatation, signée des parties, est régulière, et le comité des travaux publics du conseil d'État a reconnu qu'ele suffit pour que l'administration puisse statuer.

Je recommande à MM. les ingénieurs de s'attacher à ne faire en présence des intéressés que des opérations qui soient facilement comprises, et à ne consigner au procès-verbal que des résultats matériels, sur lesquels il ne puisse s'élever aucun doute. Il comprendront, d'ailleurs, qu'en recevant les observations des intéressés, leur rôle ne doit pas se borner à enregistrer les dires contradictoires, mais qu'il leur appartient de provoquer les discussions qui peuvent éclairer les faits et de rechercher toutes les dispositions qui, en sauvegardant l'intérêt public, peuvent donner satisfaction aux intérêts privés.

L'ingénieur ordinaire dresse les plans et nivellements nécessaires à l'instruction de l'affaire, conformément au programme que vous trouverez ci-annexé. Plans et nivellements.

Dans son rapport sur la demande du pétitionnaire, l'ingénieur présente un exposé de l'affaire, décrit l'état des lieux, discute les oppositions, et motive les propositions relatives au niveau de la retenue, aux ouvrages régulateurs et aux prescriptions diverses qu'il estime devoir être imposées aux pétitionnaires. Rapport.

L'exposé de l'affaire comprend l'analyse succincte de la pétition et les différentes phases de l'instruction à laquelle elle a été soumise. Exposé de l'affaire.

La description de l'état des lieux embrasse toutes les parties de la vallée que peut affecter le régime des eaux de l'usine à régler. Les routes, les voies de communication vicinale, les gués, les ponts, les abreuvoirs, tous les ouvrages ou établissements publics qui peuvent se ressentir d'une manière quelconque des changements pro- Description des lieux.

jetés dans la hauteur, le parcours ou la transmission des eaux, doivent y être sommairement indiqués. Il faut aussi faire connaître s'il existe sur le cours d'eau des usines réglées ou non réglées, soit en amont, soit en aval.

Discussion des oppositions.

Les questions de propriété, d'usage ou de servitude sont soumises aux règles du droit commun, et ressortissent aux tribunaux civils; mais dans l'exercice du droit de police qui lui est attribué, l'administation dont toutes les décisions réservent d'ailleurs les droits des tiers, doit rechercher et prescrire, nonobstant tous titres et conventions contraires, les mesures que réclame l'intérêt public. En conséquence, MM. les ingénieurs ne devront s'arrêter devant des oppositions qui soulèvent des questions de droit commun, qu'autant que les intérêts généraux n'auront pas à souffrir de l'ajournement de l'instruction. Dans tous les cas, avant de suspendre l'examen de l'affaire, il conviendra d'examiner si ces oppositions ont quelque fondement et si elles n'ont pas été mises en avant uniquement pour entraver la réalisation des projets du demandeur.

Niveau de la retenue.

Le premier point dont MM. les ingénieurs aient à s'occuper dans le règlement d'une usine est la détermination du niveau légal de la retenue. On entend par niveau légal d'une retenue la hauteur à laquelle l'usinier doit, par une manœuvre convenable des vannes de décharge, maintenir les eaux en temps ordinaire et les ramener, autant que possible, en temps de crues.

La fixation de ce niveau doit être faite de manière à ne porter aucune atteinte aux droits de l'usine supérieure, et à ne causer aucun dommage aux propriétés riveraines.

Ce n'est que dans l'examen attentif des circonstances de chaque affaire que MM. les ingénieurs trouveront les moyens de satisfaire à la première de ces conditions.

On ne saurait non plus poser, pour la seconde, de règles générales. La différence à maintenir entre le niveau de la retenue et les points les plus déprimés des terrains qui s'égouttent directement dans le bief varie avec la nature du terrain, le genre de culture et le régime du cours d'eau. A défaut d'usages locaux, et s'il n'est pas reconnu nécessaire d'adopter des dispositions particulières, que MM. les ingénieurs devront motiver avec soin, l'adminis-

tration admet que cette différence doit être au moins de 0m,16. On ne devra pas cependant prendre, pour base de l'application de cette règle, quelques parties du terrain peu importantes, qui pourraient présenter une dépression exceptionnelle.

Lorsqu'au lieu de recevoir directement les eaux de la vallée, le bief est ouvert à mi-côte et supérieur à une partie des terrains qui le bordent, la règle précédente n'est plus seule applicable. Il faut alors que les terrains riverains, inférieurs au bief, soient protégés contre le déversement des eaux par des berges naturelles, ou des digues artificielles, dont la hauteur soit au moins de 0m,30 au-dessus de la retenue. Les digues artificielles auront en général une largeur de 0m,60 en couronne et des talus réglés à 3 de base pour 2 de hauteur. MM. les ingénieurs ont d'ailleurs à reconnaître, dans ce cas, si les eaux de toutes les parties de la vallée que la retenue affecte ont un écoulement assuré, et à prescrire, s'il y a lieu, les dispositions nécessaires pour leur évacuation, en tant que ces dispositions peuvent être mises à la charge de l'usinier.

Il sera posé près de l'usine, en un point apparent et de facile accès, désigné, s'il y a lieu, par l'ingénieur, un repère définitif et invariable. Repère.

Le zéro de ce repère indiquera seul le niveau légal de la retenue.

Toute retenue doit être accompagnée, sauf des exceptions très-rares, et qui devront être motivées d'une manière spéciale par MM. les ingénieurs : Ouvrages régulateurs.

1° D'un déversoir de superficie dont l'objet est d'assurer immédiatement un moyen d'écoulement aux eaux, lorsque quelque variation dans le régime de la rivière fait accidentellement dépasser le niveau légal ;

2° De vannes de décharge destinées à livrer passage aux eaux des crues.

La longueur du déversoir doit être, en général, égal à la largeur du cours d'eau, aux abords de l'usine, dans les parties où le lit a conservé son état normal. Déversoir.

Sur les cours d'eau ordinaires, dont le volume entier peut être utilisé par l'usine, la crête du déversoir doit être dérasée sur toute son étendue suivant le plan de pente de l'eau retenue au niveau légal, à l'époque des eaux

moyennes, l'usine marchant régulièrement et le bief étant convenablement curé.

Sur les rivières dont les eaux ne sont pas utilisées en totalité par l'usine, le déversoir, qui a souvent une grande étendue, peut être disposé de manière à servir à l'écoulement d'une partie de la rivière même pendant les eaux ordinaires, et par conséquent être dérasé au-dessous de la hauteur de la retenue, sauf toutefois une partie du couronnement qui devra être réglée à cette hauteur, afin que l'état des eaux devant le déversoir permette d'apprécier si le niveau légal est observé.

Vannes de décharge.

Le débouché des vannes de décharge doit être calculé de telle sorte que, la rivière coulant à pleins bords et étant prête à déborder, toutes les eaux s'écoulent comme si l'usine n'existait pas. Dans ce calcul, on ne tiendra pas compte du débouché des vannes motrices, dont le propriétaire de l'usine doit toujours rester libre de disposer dans le seul intérêt de son industrie, mais on aura égard à la lame d'eau qui pourra alors s'écouler par le déversoir de superficie. Il est essentiel que MM. les ingénieurs apportent le plus grand soin dans cette partie de leur travail, et que leurs propositions soient appuyées soit sur les résultats de jaugeages bien faits, soit sur des exemples tirés d'usines ou autres ouvrages existant sur le même cours d'eau, et dont les débouchés sont convenablement établis.

Le niveau de l'arête supérieure des vannes de décharge sera déterminé d'après les mêmes règles que celui du déversoir. La hauteur des seuils sera fixée de manière à conserver la pente moyenne du fond du cours d'eau et à ne produire dans le lit aucun encombrement nuisible. Dans les établissements anciens, où le débouché est trop faible et le seuil des vannes de décharge trop élevé, il suffit presque toujours de placer au niveau indiqué ci-dessus le seuil des nouvelles vannes dont on prescrira l'établissement, sans imposer à l'usinier les frais souvent considérables de l'abaissement du seuil des vannages existants.

Canaux de décharge.

MM. les ingénieurs n'ont pas ordinairement à préciser les dimensions des canaux de décharge. Il suffit de prescrire, en termes généraux, que ces canaux soient disposés de manière à embrasser, à leur origine, les ouvrages

auxquels ils font suite, et à écouler facilement toutes les eaux que ces ouvrages peuvent débiter.

Les propriétaires d'usines, sur quelques cours d'eau dont les crues se produisent très-rapidement, ont substitué aux vannes ordinaires des vannes automobiles s'ouvrant sous la pression des eaux. Ce système n'offre pas assez de garanties pour que l'administration puisse en prescrire explicitement l'application. Néanmoins, lorsque les usiniers demanderont l'autorisation d'en faire usage, cette autorisation pourra leur être accordée à leurs risques et périls, et sous la condition expresse que les vannes seront manœuvrées à bras, toutes les fois qu'elles ne s'ouvriraient pas par la seule action des eaux. Vannes automobiles.

Sur les rivières torrentielles fortement encaissées, il est souvent inutile d'établir des vannes de décharge en vue d'assurer l'écoulement des crues. Il suffit, dans ce cas, de fixer la hauteur et la longueur du barrage, de manière à n'apporter dans la situation des propriétés riveraines aucun changement qui leur soit préjudiciable. S'il paraissait nécessaire d'empêcher l'exhaussement du fond du lit ou de se ménager les moyens de vider le bief, on se bornerait à prescrire l'établissement de vannes de fond ou même d'une simple bonde. Barrages sur les rivières torrentielles.

Sur les rivières non navigables ni flottables, hors les cas de partage d'eau dans lesquels l'administration peut être appelée à déterminer la situation respective des divers intéressés, les dimensions des vannes motrices doivent être laissées à l'entière disposition du permissionnaire; il n'y a pas lieu non plus d'imposer l'établissement de vannes de prises d'eau en tête des dérivations, ni de fixer la largeur et la pente des canaux de dérivation, toutes les fois qu'il n'est pas reconnu nécessaire, dans l'intérêt des propriétés riveraines ou par suite de quelque disposition locale, de régler l'introduction des eaux dans ces canaux. Vannes motrices.

MM. les ingénieurs n'ont d'ailleurs, en aucun cas, à régler la chute de l'usine ni les dispositions du coursier et de la roue hydraulique.

Sur les cours d'eau navigables ou flottables, comme il s'agit d'une concession temporaire et révocable sur le domaine public, concession qui est soumise à une redevance conformément à la loi de finances du 16 juillet 1840, il y a lieu de déterminer le volume d'eau concédé, en Clauses spéciales pour les cours d'eau navigables.

fixant les dimensions des prises d'eau. Quant à la quotité de la redevance, elle devra être établie en prenant pour base, dans chaque localité, la valeur de la force motrice. Les propositions qui vous seront faites à cet égard par MM. les ingénieurs devront être communiquées à M. le directeur des domaines, dont l'avis sera joint au dossier, ainsi que le consentement du pétitionnaire.

MM. les ingénieurs auront, en outre, à déterminer les conditions à remplir dans l'intérêt de la navigation ou du flottage.

Ouvrages accessoires.

Les propositions des ingénieurs comprendront les obligations spéciales qu'il peut être nécessaire, à raison de l'état des lieux, d'imposer à l'usinier, telles que rétablissement de gués, construction de ponts, ponceaux ou aqueducs, ou autres ouvrages présentant un caractère d'utilité générale. Toutefois, il convient que ces prescriptions soient rédigées en termes généraux, et qu'elles ne règlent pas les détails qui doivent rester dans les attributions des autorités locales. MM. les ingénieurs devront d'ailleurs, lorsque plusieurs services seront intéressés dans la question, se conformer aux dispositions de la circulaire du 12 juin 1850.

Transmission régulière des eaux.

Dans le cas où, pour assurer la transmission régulière des eaux, il serait nécessaire d'interdire les éclusées ou d'en régler l'usage, MM. les ingénieurs auront à fixer soit le niveau au-dessous duquel les eaux ne doivent pas être abaissées, soit la durée des intermittences.

Étangs servant de bief aux usines.

Si le bief d'une usine forme un étang qui puisse donner lieu à des exhalaisons dangereuses, il conviendra de rechercher quelles sont les dispositions spéciales à prescrire dans l'intérêt de la salubrité publique, afin que cet étang ne puisse pas tomber sous l'application du décret des 11-19 septembre 1792 (1). Vous voudrez bien consulter

---

(1) Décret des 11-19 septembre 1792.

L'assemblée nationale décrète ce qui suit :

« Lorsque les étangs, d'après les avis et procès-verbaux des gens de l'art, pourront occasionner, par la stagnation de leurs eaux, des maladies épidémiques ou épizootiques, ou que, par leur position, ils seront sujets à des inondations qui envahissent et ravagent les propriétés inférieures, les conseils généraux des départements sont autorisés à en ordonner la destruction, sur la demande formelle des conseils généraux des communes, et d'après les avis des administrateurs de district. » (11-20 septembre 1792.)

à cet effet les conseils municipaux des communes intéressées, ainsi que le conseil d'hygiène de l'arrondissement, organisé par l'arrêté du 18 décembre 1848, et joindre au dossier leurs délibérations et leurs avis.

S'il s'agit de créer une scierie, vous aurez à prendre l'avis du conservateur des eaux et forêts, qui est chargé d'examiner si l'établissement projeté n'est pas soumis aux prohibitions déterminées par le Code forestier (2). Dans tous les cas, on doit stipuler que le permissionnaire ne pourra invoquer l'autorisation à lui accordée, au point de vue du régime des eaux, qu'après s'être conformé aux lois et règlements des eaux et forêts. **Scieries.**

Si l'usine doit être établie dans la zone frontière soumise à l'exercice des douanes, le directeur des douanes doit être également consulté, et une réserve analogue à celle indiquée ci-dessus doit être insérée dans l'acte d'autorisation. **Usines situées dans la zone frontière.**

Enfin, lorsque l'établissement projeté se trouve compris dans la zone des servitudes militaires, autour des places de guerre, il y a lieu d'ouvrir des conférences avec MM. les officiers du génie militaire, conformément à l'ordonnance du 18 septembre 1816 et aux circulaires des 27 mars 1846 et 30 octobre 1849. **Usines situées dans la zone des servitudes militaires.**

L'ingénieur ordinaire résume ses propositions, s'il y a lieu, dans un projet de règlement séparé de son rapport (modèle n° 5 pour les cours d'eau non navigables ni flottables, et modèle n° 6 pour les cours d'eau du domaine public), et adresse toutes les pièces de l'instruction à l'ingénieur en chef. **Projet de règlement.**

MM. les ingénieurs ne perdront pas de vue, en présentant leurs conclusions, que dans toutes les prescriptions relatives au règlement des usines, il importe de ménager avec soin les intérêts des propriétaires de ces

---

(2) *Art.* 155 du Code forestier. Aucune usine à scier le bois ne pourra être établie dans l'enceinte et à moins de deux kilomètres de distance des bois et forêts qu'avec l'autorisation du gouvernement, sous peine d'une amende de cent à cinq cents francs, et de la démolition dans le mois, à dater du jugement qui l'aura ordonnée.

Art. 156. Sont exceptées des dispositions des trois articles précédents, les maisons et usines qui font partie de villes, villages ou hameaux formant une population agglomérée, bien qu'elles se trouvent dans les distances ci-dessus fixées des bois et forêts.

établissements ; il faut tenir compte des ouvrages existants s'efforcer de les conserver, rechercher les moyens de n'imposer aucune construction trop dispendieuse, en laissant d'ailleurs autant que possible à l'usinier la faculté de choisir pour ces constructions les emplacements qui lui conviendront le mieux, ne prescrire enfin de dispositions onéreuses que celles que l'intérêt de la police des eaux rend indispensables.

Avis de l'ingénieur en chef. L'ingénieur en chef vous transmet, monsieur le préfet, toutes les pièces avec ses observations et son avis.

Deuxième enquête. Conformément à la circulaire du 16 novembre 1834 (1), ces pièces sont soumises à une nouvelle enquête en tout semblable à la première, sauf réduction du délai à quinze jours. Le résultat de cette seconde enquête est communiqué à MM. les ingénieurs, pour qu'ils donnent leur avis.

Si, d'après les résultats de cette seconde enquête, MM. les ingénieurs croient devoir apporter à leurs premières conclusions quelque changement qui soit de nature à provoquer de nouvelles oppositions, il conviendra que l'affaire soit de nouveau soumise à une enquête de quinze jours.

Avis du préfet. Après l'accomplissement de ces formalités, vous aurez, monsieur le préfet, à prononcer le rejet de la demande ou à en proposer l'admission.

En cas de rejet, vous notifierez immédiatement votre arrêté motivé au pétitionnaire, qui, s'il le juge utile à ses intérêts, exercera son recours devant le ministre.

En cas d'admission, vous me transmettrez les pièces avec votre avis. Si les conclusions des ingénieurs sont adoptées par vous sans modification, vous pourrez, afin d'éviter des transcriptions qui demandent un temps assez long et donnent lieu quelquefois à des erreurs, vous borner à me faire connaître, dans votre lettre d'envoi, que vous approuvez le projet de règlement. Si, au contraire, vous croyez devoir modifier ces conclusions, vous voudrez bien me transmettre sous forme d'arrêté votre avis motivé, en vous conformant d'ailleurs, suivant les cas, au modèle n° 5 ou n° 6.

Récolement. Lorsque l'acte d'autorisation a été rendu, l'ingénieur

(1) Annales des mines, 3e série, t. VI, p. 595.

ordinaire, à l'expiration du délai fixé par cet acte, se transporte sur les lieux pour vérifier si les travaux ont été exécutés conformément aux dispositions prescrites, et rédige un procès-verbal de récolement, en présence de l'autorité locale et des intéressés, convoqués à cet effet dans les mêmes formes que pour la visite des lieux dont il a été parlé ci-dessus

Le procès-verbal (modèle n° 7) rappelle les divers articles de l'acte d'autorisation et indique la manière dont il a été satisfait.

L'ingénieur y fait mention de la pose du repère définitif, et, pour en définir la position, le rattache à des points fixes servant de contre-repères.

Si les travaux exécutés sont conformes aux dispositions prescrites, l'ingénieur en propose la réception et transmet le procès-verbal de récolement en triple expédition à l'ingénieur en chef, qui le soumet, avec son avis, à votre approbation. L'une des expéditions me sera transmise, une autre sera déposée aux archives de la préfecture, et la troisième à la mairie de la situation des lieux.

Lorsque les travaux ne sont pas entièrement conformes aux dispositions prescrites, l'ingénieur, à la suite du procès-verbal de récolement, discute les différences et il y joint, au besoin, de nouveaux dessins pour rendre plus facile la comparaison de l'état de choses qui existe avec celui qui a été prescrit.

Si les différences reconnues sont peu importantes et ne donnent lieu à aucune réclamation, vous voudrez bien, monsieur le préfet, me soumettre l'affaire, afin que je prenne telle mesure qu'il appartiendra. S'il s'agit, au contraire, de différences notables et qui seraient de nature à causer des dommages, vous devrez, sans qu'il soit nécessaire de m'en référer, mettre immédiatement le permissionnaire en demeure de satisfaire aux prescriptions de l'acte d'autorisation, et en cas de refus ou de négligence de sa part, vous ordonnerez la mise en chômage de l'usine, et même, s'il y a lieu, la destruction des ouvrages dommageables.

Révision des règlements.

Bien que l'administration ne veuille pas s'interdire, d'une manière abs lue, la faculté de revenir sur les autorisations accordées aux usiniers, il importe de ne modifier qu'avec une grande réserve les actes émanés du

pouvoir exécutif, après une instruction régulière et contradictoire.

Dans le cas où les intéressés vous adresseraient des demandes tendant à obtenir la modification de règlements existants, vous voudrez bien me transmettre ces demandes accompagnées du rapport de MM. les ingénieurs et de votre avis particulier, afin de me mettre à même de statuer sur la question de savoir s'il y a lieu de prescrire une nouvelle instruction, laquelle devrait être faite dans les formes indiquées ci-dessus.

MM. les ingénieurs auront soin de joindre à leurs propositions celles des pièces de la première instruction qui peuvent être utiles à l'examen de l'affaire, et notamment l'acte administratif dont la révision est demandée.

Règlement de plusieurs usines.

Lorsqu'ils auront à traiter en même temps les affaires relatives à plusieurs usines, MM. les ingénieurs s'efforceront de former, autant que possible, un dossier distinct, et de présenter un projet de règlement spécial pour chaque établissement, afin que, d'une part, chaque propriétaire ait un titre réglementaire particulier, et que, d'autre part, les retards auxquels une affaire pourrait donner lieu n'arrêtent pas l'instruction des autres.

Règlements d'office.

Je vous recommande expressément, monsieur le préfet, de n'ordonner qu'avec une très-grande réserve le règlement d'office d'usines existantes. Sans doute, toutes les fois qu'un dommage public ou privé lui est signalé, l'administration doit intervenir; mais il convient qu'elle s'abstienne, lorsque son intervention n'est pas réclamée, et surtout lorsqu'il s'agit d'établissements anciens qui ne donnent lieu à aucune plainte. On ne devra faire d'exception que pour les usines qui sont situées sur la même tête d'eau ou qui ont des ouvrages régulateurs communs, et qu'il est indispensable de régler simultanément lorsque l'administration est saisie de questions relatives à l'une d'entre elles

Les règlements d'office qu'il vous paraîtrait indispensable de prescrire seront d'ailleurs soumis aux mêmes règles que les affaires dont l'administration est saisie par l'initiative des particuliers.

J'ai l'honneur de vous adresser, avec la présente circulaire, les modèles que j'ai cités dans le cours de cette instruction. J'attache une grande importance à ce que ces

modèles soient exactement observés, et je vous prie de vous concerter avec M. l'ingénieur en chef pour faire imprimer les formules qui, à l'avenir, devront être exclusivement employées dans l'instruction des affaires d'usines.

Vous trouverez en outre ci-joint un programme pour la rédaction des dessins et des pièces écrites que doivent produire MM. les ingénieurs. Je vous prie de leur recommander de se conformer ponctuellement aux dispositions de ce programme.

Veuillez, monsieur le préfet, m'accuser réception de la présente circulaire, dont j'adresse une ampliation à MM. les ingénieurs en chef et ordinaires.

Recevez, monsieur le préfet, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Le ministre des travaux publics,
Signé P. MAGNE.

(Voir d'autre part le programme pour la rédaction des pièces nécessaires à l'instruction des affaires d'usines.)

PROGRAMME

Pour la rédaction des pièces nécessaires à l'instruction des règlements d'eau, annexé à la circulaire du 23 octobre 1851.

PIÈCES A PRODUIRE.	ÉCHELLES.	RÈGLES A OBSERVER.
1° DESSINS.		
Plan général.	On se servira, autant que possible, des plans du cadastre. Si l'on ne peut en faire usage, on adoptera, suivant les cas, l'échelle de 1/1000 ou celle de 1/2000.	Le plan comprendra toutes les portions des cours d'eau et toutes les propriétés sur lesquelles les travaux faits ou projetés peuvent avoir quelque influence. On indiquera spécialement les routes et chemins, les gués, pertuis, barrages, prises d'eau et autres ouvrages qui touchent aux cours d'eau. On indiquera les eaux par une teinte bleue, les prairies par une teinte verte, les bois par une teinte jaune, les terres arables par une teinte bistre; les maisons et les ouvrages existants seront figurés en noir, les ouvrages projetés en rouge; les contours des terrains à arroser seront indiqués par un liseré vert foncé; les routes, chemins, cours et jardins seront laissés en blanc. Toutes les teintes seront légères: les propriétés seules des opposants seront rendues sensibles à l'œil par une couche plus prononcée des teintes qui viennent d'être indiquées. Les signes et écritures devront, autant que possible, être placés sur les objets mêmes *auxquels ils se rapportent*, et l'on n'aura recours à l'emploi des légendes que lorsque cette disposition sera indispensable pour éviter la confusion. On indiquera par une ou plusieurs flèches la direction des cours d'eau, par des lignes noires ponctuées l'emplacement et l'étendue des profils, par des chiffres romains le numéro des profils en travers, par des chiffres arabes apparents placés au milieu de chaque parcelle la contenance des terrains à arroser, par des cotes entre parenthèses, rapportées au même plan de comparaison que celles du profil en long, la forme et le relief de ces terrains, par des hachures l'étendue des depressions exceptionnelles qui n'auraient pas été prises en considération pour fixer le point d'eau, enfin par des écritures les ouvrages existants ou projetés qui seront mentionnés dans l'instruction. Les noms des pétitionnaires et des opposants seront toujours portés sur le plan: les premiers seront écrits en rouge et les seconds en noir.
Dessins de détail.	Échelle de 1/200.	Les dessins de détail pourront être rapportés sur une feuille séparée ou sur une partie distincte de la feuille du plan général. On y indiquera les plans, coupes et élévations des ouvrages existants et des ouvrages projetés, en noir, pour les premiers, en rouge pour les seconds. Le point d'eau *niveau légal de la retenue* y sera toujours indiqué. Les débouchés et les dimensions essentielles de tous les ouvrages seront cotés avec soin.
Nivellements.		On rapportera, autant que possible, sur la même feuille les profils en long et en travers.
		1° PROFIL EN LONG.
	Longueurs, échelle du plan général. Hauteurs décuples de celles des longueurs.	On s'abstiendra généralement de rapporter sur le profil en long les berges des cours d'eau, mais on y indiquera le fond du lit et le niveau des eaux. Toutes les cotes seront rapportées à un plan de comparaison passant par le repère provisoire, ou à dix mètres au dessus dans le cas où quelques points se trouveraient se-

PIÈCES À PRODUIRE.	ÉCHELLES.	RÈGLES À OBSERVER.
		périeurs au plan du repère. Les cotes de longueur seront inscrites sur deux lignes tracées au-dessus du profil, parallèlement à la rive du papier Sur la première ligne seront inscrites les longueurs partielles entre deux cotes consécutives de nivellement; sur la seconde, les mêmes longueurs cumulées à partir de l'usine. Le fond du lit sera indiqué par un liséré et des cotes noirs; le niveau observé le jour de l'opération, par des lignes et des cotes bleues; le point d'eau proposé, par des lignes et des cotes rouges. Si, pendant le cours de l'instruction, des modifications sont apportées aux dispositions primitives, on emploiera successivement, pour désigner les nouveaux points d'eau, les couleurs jaune, bistre, etc. Si l'on propose simultanément deux points d'eau différents, l'un pour le jeu des usines, l'autre pour les irrigations, on conservera la couleur rouge pour désigner le premier et l'on adoptera la couleur verte pour le second. Les repères provisoires seront figurés en noir à la place qu'ils occupent, avec le détail des constructions sur lesquelles ils se trouvent; les repères définitifs seront rapportés en rouge lorsqu'il y aura lieu de les designer à l'avance.
		2° PROFILS EN TRAVERS.
	Longueurs 1/500 Hauteurs 1/50	Pour les affaires d'usine, des profils en travers seront relevés aux points les plus bas des terrains qui bordent les cours d'eau et partout où la hauteur des eaux aura donné lieu à des réclamations. Pour les affaires d'irrigations, des profils en travers seront, en outre, levés sur les terrains à arroser, si les cotes du plan ne suffisent pas pour en faire connaître la forme. Le plan d'eau proposé sera figuré sur chaque profil par une ligne rouge pleine tracée dans le prolongement de l'ordonnée correspondante du profil en long. Chaque profil en travers sera rabattu à gauche de cette ligne, de telle sorte que la rive gauche du cours d'eau soit au-dessus de l'axe du profil en travers et la rive droite au-dessous. La cote rouge du profil en long sera reproduite sur l'axe du profil en travers avec des chiffres apparents entre parenthèses. Toutes les hauteurs seront comptées à partir de la ligne rouge ci-dessus designée: elles seront écrites, suivant la position des points auxquels elles correspondent, les unes au-dessus, les autres au-dessous de cette ligne, avec une encre de la couleur employée pour les points dont ces cotes indiquent le niveau. Si pendant le cours de l'instruction des modifications sont proposees au niveau de la retenue, on se bornera à les indiquer sur chaque profil en travers par une cote et par une ligne de même couleur que la couleur correspondante à ces modifications sur le profil en long. Si les profils en travers ont une trop grande étendue, ils pourront être dessinés à la même échelle que les profils en long.
3° PIÈCES ÉCRITES.		
Procès-verbaux d'enquêtes.		Les pièces de chacune des enquêtes, y compris les arrêtés qui ont ordonné ces enquêtes, revêtus des certificats des maires, seront réunies ensemble et renfermées dans une formule imprimée (modèle n° 2).
Procès-verbal de visite des lieux.		Le procès-verbal de visite des lieux sera rédigé sur une formule imprimée (modèle n° 4).
Rapports.		Le rapport sera autant que possible subdivisé en plusieurs chapitres qui présenteront d'une manière succincte, et dans l'ordre suivant,

PIÈCES A PRODUIRE.	ÉCHELLES.	RÈGLES A OBSERVER.
Projet de règlement.		La situation de l'affaire, La description de l'état des lieux, La discussion des oppositions, Les observations et avis..... { Niveau de la retenue. Ouvrages régulateurs. Dispositions accessoires. Les avis successifs de MM. les ingénieurs ordinaires et de MM. les ingénieurs en chef, depuis l'origine jusqu'à la fin de l'instruction, devront être écrits à la suite les uns des autres de manière à ne former qu'un seul cahier. Le projet de règlement (modèle n° 5 ou 6) devra être présenté dans une formule imprimée et formera une pièce séparée. Les modifications successives que les ingénieurs seront conduits à proposer pendant le cours de l'instruction seront indiquées par des encres de couleur différentes dans l'ordre suivant : rouge, bleu, vert, etc.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Les plans et nivellements seront toujours rapportés dans le sens du cours de la rivière et en allant de gauche à droite.

On évitera d'employer des expressions locales, ou, si on les emploie, on en donnera l'explication.

Les écritures devront être bien lisibles, ainsi que les chiffres inscrits sur les plans et profils. Les petits caractères (lettres ou chiffres) n'auront pas *moins de* deux millimètres de hauteur.

Les échelles seront représentées graphiquement sur les plans et profils ; en même temps, elles seront définies en chiffres comme dans l'exemple suivant :

Échelle de $0^m.005$ *pour mètre* (1/200).

Les plans, profils et dessins seront, autant que possible, collés sur calicot blanc, ou sinon, dressés sur bon papier, souple et propre au lavis.

Tous les plans, profils, dessins et pièces écrites, sans exception aucune, seront présentés dans le format dit *tellière*, de $0^m.31$ de hauteur sur $0^m.21$ de largeur.

Les plans, profils et dessins seront pliés suivant ces dimensions en paravent, c'est-à-dire à plis égaux et alternatifs, tant dans le sens de la hauteur que dans celui de la longueur, en commençant toujours par cette dernière dimension.

Les titres, signatures et autres écritures d'usage, ainsi que l'échelle, seront placés sur le verso du premier feuillet des plans, profils et dessins, de manière qu'il soit toujours facile de les mettre en évidence, que le dessin soit plié ou qu'il soit ouvert.

Les ingénieurs emploieront les formules suivantes :

Dressé par.....	l'ingénieur ordinaire ou l'élève ingénieur,	soussigné.
Vérifié et présenté par	l'ingénieur en chef ou l'ingénieur, faisant fonctions d'ingénieur en chef,	soussigné, conformément à sa lettre ou à son rapport du...

On inscrira d'ailleurs, en caractères très-lisibles, au-dessous des titres généraux, les noms et grades des signataires du projet.

Les procès-verbaux de conférences entre les ingénieurs des services civils et militaires seront toujours accompagnés d'une expédition des plans, nivellements, dessins et autres pièces mentionnées dans le procès-verbal, et portant les mêmes dates et les mêmes signatures que ce procès-verbal.

A M. le Préfet d

Paris, le 25 octobre 1851.

Établissements dangereux, insalubres ou incommodes.

—

Observations relatives à l'instruction des demandes en autorisation.

Monsieur le préfet, j'ai eu occasion de remarquer, dans ces derniers temps, que les instructions relatives aux demandes en autorisation d'établissements dangereux, insalubres ou incommodes, de première classe, entraînaient de longs retards. Ces délais sont d'autant plus fâcheux qu'ils entravent la création d'ateliers nouveaux pouvant offrir par le travail, des ressources aux populations ouvrières, et qu'ils peuvent causer à des industriels des pertes considérables, en rendant des capitaux improductifs pendant plus ou moins longtemps. Je sais que, par leur nature, ces affaires réclament un examen attentif, et qu'il faut concilier avec les intérêts de l'industrie les garanties qu'on doit aux propriétaires voisins des établissements projetés. Je sais aussi qu'il y a des retards inévitables, puisqu'ils résultent des prescriptions relatives à l'affichage de la demande, à l'enquête *de commodo et incommodo*, et je tiens compte, en outre, du temps nécessaire pour faire dresser les plans à produire, pour soumettre le dossier, s'il y a lieu, au conseil d'hygiène et de salubrité de l'arrondissement, ainsi qu'au conseil de préfecture; mais je ne saurais trop vous recommander de tenir la main à ce que toutes ces formalités soient accomplies sans interruption et avec toute la célérité possible, de telle sorte que les intéressés ne puissent accuser l'administration de lenteur ou d'incurie.

J'insisterai, de plus, monsieur le préfet, sur la nécessité de ne transmettre les dossiers à mon département que quand ils seront complets, afin qu'il puisse y trouver immédiatement tous les éléments indispensables de solution. Souvent, en effet, les instructions soumises à l'examen de mon administration laissent à désirer, en ce sens que toutes les formalités nécessaires n'ont pas été remplies; souvent aussi les plans joints aux pièces n'ont pas une étendue suffisante pour qu'il soit possible de se rendre compte exactement de la situation de l'établissement projeté. De là, la nécessité de réclamer de nouvelles pièces ou de provoquer des suppléments d'instruction, et la décision s'en trouve quelquefois retardée de plusieurs mois. Il est un autre point, monsieur le préfet, sur lequel j'ap-

pelle votre attention particulière : veuillez apporter le plus grand soin à ce que les demandes d'autorisation soient affichées pendant un mois dans un rayon de 5 kilomètres, à partir du point assigné au siége de l'usine, conformément aux dispositions du décret du 15 octobre 1810 et de la circulaire du 22 novembre 1811, et aussi à ce que l'époque d'ouverture et de fermeture de l'enquête soit connue de toutes les communes situées dans le même rayon de 5 kilomètres. Je vous recommande également de ne pas manquer de prendre l'avis du conseil de préfecture, quand la demande fait naître des observations, et d'en saisir préalablement le conseil d'hygiène de l'arrondissement, toutes les fois que la salubrité publique y est intéressée.

Enfin, je vous serai obligé de faire joindre au dossier un plan, en double expédition, sur échelle métrique ayant au moins 500 mètres de rayon, et indiquant avec précision la situation de l'établissement ainsi que la distance à laquelle il se trouve des maisons voisines, surtout de celles appartenant aux opposants; ce plan devra être certifié par le maire de la localité et revêtu de son visa.

J'espère, monsieur le préfet, que ces instructions préviendront, à l'avenir, les causes d'ajournement que présentent le plus souvent les affaires de cette nature, et je vous prie de les porter à la connaissance des autorités locales chargées de réunir les éléments des décisions à prendre sur les demandes en autorisation d'établissements dangereux, insalubres ou incommodes.

Recevez, monsieur le préfet, l'assurance de ma considération très-distinguée.

Le ministre de l'agriculture et du commerce,
Signé L. BUFFET.

Compte rendu des travaux de MM. les ingénieurs des mines

A M. ingénieur des mines.

Paris, le 25 octobre 1851.

Monsieur, l'article 1er de la loi du 25 novembre 1850 est ainsi conçu :

« Le compte rendu des travaux exécutés, dirigés et sur- » veillés par les ingénieurs des mines, sera publié tous les

» trois ans pendant la première année de chaque nouvelle
» assemblée législative.

» Le premier paraîtra en 1852 et comprendra l'analyse
» des travaux faits depuis le dernier compte rendu publié
» en 1847, jusques et y compris 1851. »

Le moment est venu, monsieur, de nous mettre en mesure de remplir l'obligation qui nous est imposée par la loi, et comme le compte qu'il s'agit de rendre doit être évidemment le résumé de tous les comptes partiels dressés par MM. les ingénieurs des mines, je viens vous inviter à préparer sans retard celui qui vous concerne, et vous adresser les instructions sur la manière dont vous devez le rédiger.

Avant la révolution de février et pour se conformer à une disposition de loi qui remontait à l'année 1833, l'administration publiait tous les ans le résultat des travaux de MM les ingénieurs des mines, et pour donner quelque intérêt à cette publication annuelle, elle devait retracer tous les faits de science et d'administration auxquels les ingénieurs avaient concouru; aujourd'hui qu'il s'agit de rendre compte de travaux qui embrassent une période d'au moins trois années, il est évident que l'on pourra être plus sobre de détails et se borner à reproduire les faits les plus saillants parmi ceux auxquels chaque ingénieur aura pris part : le compte publié par l'administration aura ainsi plus d'intérêt, et les services de tout genre rendus à l'industrie nationale par MM les ingénieurs n'en seront que mieux compris et mieux appréciés.

Il m'a paru d'ailleurs que pour rendre plus facile à lire le compte général que l'administration devra publier, il convenait de le diviser en chapitres correspondants aux divers objets dont MM. les ingénieurs des mines ont à s'occuper : le premier, les mines; le deuxième, les minières et tourbières; le troisième, les carrières; le quatrième, les usines minéralurgiques; le cinquième, les machines et les bateaux à vapeur; le sixième, les locomotives et le matériel des chemins de fer; le septième enfin, les objets divers qui ne rentrent spécialement dans aucune des catégories ci-dessus.

C'est en conséquence, monsieur, dans les mêmes formes et avec les mêmes divisions que doit être rédigé le compte particulier que vous avez à rendre, et dans chaque

division vous indiquerez les travaux que vous avez eu, dans la période de 1847 à 1851 inclusivement, à exécuter, diriger et surveiller, en faisant ressortir, comme je l'ai dit déjà, les faits remarquables sur lesquels il y a lieu d'appeler spécialement l'attention.

Je vous renvoie ci-joints et à titre de renseignements, les comptes que vous avez précédemment fournis à l'administration pour les années 1848, 1849 et 1850; ces documents pourront vous être utiles pour le nouveau travail que vous avez à préparer, et je désire d'ailleurs que ce travail me parvienne au plus tard le 29 février 1852.

En terminant, monsieur, je n'ai pas besoin de vous rappeler que la publication que nous avons à faire, en même temps qu'elle doit présenter comme le résumé de la richesse minérale de la France, doit aussi mettre en relief les services que rend au pays le corps des ingénieurs des mines; c'est donc en quelque sorte une œuvre de famille à laquelle vous avez à concourir, et c'est assez dire que vous y apporterez tout votre zèle et tout votre dévouement.

Recevez, monsieur, l'assurance de ma considération très-distinguée.

Le ministre des travaux publics,
Signé P. MAGNE.

Interdiction du travail le dimanche et les jours fériés.

A M.

Paris, le 10 novembre 1851.

Monsieur, par une circulaire du 20 mars 1849 (1), j'ai prescrit sur les ateliers dépendant du ministère des travaux publics le repos du dimanche pour les ouvriers employés à la journée, et rappelé à tous les chefs de service qu'en s'occupant des moyens d'accroître le développement des travaux publics et particuliers, le gouvernement n'entendait pas négliger la condition de l'amélioration morale chez l'ouvrier et la satisfaction des besoins de l'intelligence, au double point de vue de l'hygiène et de la moralité.

J'attache une grande importance à ce que les prescriptions de ma circulaire soient observées. Je vous en adresse ci-joint un nouvel exemplaire, et je vous rappelle que,

(1) Annales des mines, 4e série, tome XV, page 662.

dans les circonstances exceptionnelles où une dérogation est indispensable, vous devez réclamer les autorisations nécessaires assez à temps pour que l'autorité compétente puisse en reconnaître l'opportunité.

En remettant ces dispositions sous vos yeux, je dois vous faire connaître mon intention de donner à cette mesure toute l'extension compatible avec les nécessités du service. Ainsi, dans la rédaction des cahiers des charges concernant les travaux à adjuger, vous devrez à l'avenir introduire une clause qui interdise aux entrepreneurs le travail le dimanche et les jours fériés, à moins qu'une autorisation régulière n'ait été accordée pour des motifs que l'autorité administrative appréciera.

Je vous invite à m'accuser réception de la présente circulaire, et à me rendre compte des dispositions que vous avez prises pour en assurer l'exécution.

Le gouvernement, en adoptant une pareille mesure, entend respecter les exigences légitimes du service et la liberté de ceux qu'il emploie ; mais il s'honorera toujours en donnant de haut l'exemple de ce respect traditionnel qui s'est de tout temps attaché au jour consacré par les lois religieuses au repos, au culte, à la famille.

Recevez, monsieur, l'assurance de ma considération très-distinguée.

Le ministre des travaux publics,
T. LACROSSE.

M. le Préfet d

Tarif d'entrée. — Modification du régime du borax brut et du borax raffiné.

Paris, le 13 novembre 1851.

Un décret du 5 de ce mois (1), inséré au Bulletin des lois n° 459, modifie le régime du borax brut et du borax mi-raffiné, et établit pour ces deux produits une taxe uniforme.

Les directeurs sont priés de donner connaissance de ces dispositions au service et au commerce.

Je me réfère, pour les caractères distinctifs des diverses qualités du borax, à la note 426 du Tarif officiel.

Le directeur de l'administration des douanes,
Thre GRÉTERIN.

(1) Voir le décret à sa date (5 novembre 1851), *suprà*, p. 720.

Personnel. — Dispositions relatives aux congés.

A M. le Préfet d

Paris, le 10 novembre 1851.

Monsieur le préfet, le règlement d'administration publique du 13 octobre 1851, portant organisation du corps des ponts et chaussées, renferme, au sujet des congés, les dispositions suivantes :

« Art. 22, § 1er. *Les congés temporaires ne dépassent » pas trois mois. Ils sont accordés par le ministre, sur » l'avis des préfets, pour les ingénieurs en chef, et sur » l'avis des ingénieurs en chef et des préfets pour les ingé» nieurs ordinaires.*

» § 2. *Toutefois, les préfets peuvent accorder aux ingé» nieurs en chef et aux ingénieurs ordinaires des permis» sions d'absence dont la durée n'excède pas dix jours.*

» Art. 23, § 1er. *Les ingénieurs qui excèdent les limites » de leurs permissions ou congés, ou qui ne se rendent pas » à leur poste aux époques assignées, sont privés de leurs » appointements pour tout le temps de leur absence de ce » même poste, sans préjudice des mesures disciplinaires » qui pourraient leur être appliquées.*

» § 2. *Si le retard excède trois mois, l'ingénieur peut » être déclaré démissionnaire.* »

Le paragraphe premier de l'article 22 ne fait que reproduire des dispositions déjà en vigueur. Je crois devoir le compléter, en rappelant les prescriptions de ma circulaire du 9 juin 1849, et en indiquant ce qu'il me paraît convenable d'y ajouter pour assurer mieux la stricte exécution de mesures impérieusement réclamées dans l'intérêt de l'ordre et de la régularité du service.

D'après la circulaire de 1849, l'avis du départ et du retour de l'ingénieur qui obtient un congé doit être transmis par le préfet, s'il s'agit d'un ingénieur en chef, et par l'ingénieur en chef, s'il s'agit d'un ingénieur ordinaire. En cas de déplacement, l'administration doit être informée de la même manière du départ de l'ingénieur et de son arrivée à sa nouvelle résidence.

Malgré cette prescription, l'administration se trouve, aujourd'hui comme autrefois, dans l'impossibilité de savoir d'une manière certaine, à un moment donné, si l'ingénieur qui a obtenu un congé, ou qui est appelé à une nouvelle destination, se trouve ou ne se trouve pas à son poste. Souvent, en effet, les ingénieurs ne profitent

de leurs congés que longtemps après les avoir obtenus, et quelquefois l'avis de leur départ ne parvient à l'administration que lorsqu'ils sont déjà de retour.

Pour obvier à cette double cause d'incertitude, je crois devoir arrêter les dispositions suivantes :

A l'avenir, la demande devra indiquer et la décision déterminera l'époque précise à laquelle commencera le congé ; tout le temps écoulé a partir de cette époque sera compté dans la durée du congé, qui se trouvera réduite d'autant.

L'ingénieur en congé ou déplacé devra, dans les vingt-quatre heures de son départ et de son arrivée, en donner avis au chef de service ou au préfet par une lettre qui sera immédiatement transmise à l'administration centrale. Il sera pris note de la date de ces notifications sur un registre spécial tenu à cet effet au bureau du personnel.

Les dispositions qui précèdent ne concernent que les congés dont la durée excède dix jours. Les permissions d'absence de dix jours au plus pourront, d'après le paragraphe 2 de l'article 22 du règlement, être accordées directement par les préfets. Il devra toutefois être donné avis au ministre de la décision qui aura accordé le congé, de ses motifs et de l'époque du départ et du retour de l'ingénieur.

Ces permissions d'absence ne donneront lieu à aucune retenue sur le traitement. Mais le délai de dix jours est une limite rigoureuse qui ne peut être dépassée. L'ingénieur dont l'absence se prolongerait au delà tomberait sous l'application des dispositions relatives aux congés ordinaires.

Je n'ai pas besoin, monsieur le préfet, d'appeler votre attention sur la nécessité de n'accorder de semblables permissions que pour des motifs sérieux, et dans le cas seulement où le service des ingénieurs ne peut avoir à souffrir de leur absence. Je m'en remets entièrement, à cet égard, à votre prudence et à votre sollicitude pour les intérêts du service.

L'article 23 du règlement décide que les ingénieurs qui excèdent les limites de leurs permissions ou congés, ou qui ne se rendent pas à leur poste aux époques assignées, sont privés de leurs appointements. Cette privation s'applique non-seulement à la prolongation irrégulière de

l'absence, mais à toute la durée du congé. Ce n'est, en effet, que par une sorte de faveur que le fonctionnaire qui ne fait pas de service conserve une partie de son traitement, et cette faveur doit être retirée à celui qui, sans autorisation, reste éloigné de son poste après l'expiration de son congé. L'absence irrégulièrement prolongée peut, d'ailleurs, donner lieu à des mesures disciplinaires, et, si elle durait plus de trois mois, l'ingénieur pourrait être déclaré démissionnaire.

Les dispositions relatives aux congés des ingénieurs s'appliqueront également aux conducteurs. Il me paraît toutefois inutile d'informer l'Administration supérieure des permissions d'absence de dix jours au plus accordées à ces agents, à moins qu'ils ne viennent à Paris; dans ce cas, l'administration devra être prévenue. Ces permissions pourront être accordées directement par le chef de service, à la charge de vous en donner avis et de vous faire connaître le jour du départ et du retour du conducteur en congé.

Pour les agents inférieurs, les permissions d'absence n'excédant pas dix jours pourront être accordées par les ingénieurs ordinaires, à la charge d'en informer immédiatement l'ingénieur en chef. Les congés de dix jours à un mois seront accordés par vous, sur la proposition de l'ingénieur en chef. L'administration supérieure n'aura à intervenir que pour les congés excédant un mois.

Je vous prie, monsieur le préfet, de m'accuser réception de la présente, dont j'adresse ampliation à MM. les ingénieurs en chef et ordinaires.

Recevez, monsieur le préfet, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Le ministre des travaux publics,
T. LACROSSE.

Borax. — La tarification établie par le décret du 5 novembre 1851 n'est applicable qu'au borax natif.

A M.

Paris, le 24 décembre 1851.

Il existe dans le commerce deux natures de borax, le borax *natif*, que l'on trouve tout formé sur quelques points de l'Inde et de la Chine, et le borax *artificiel*, que l'industrie obtient en combinant l'acide borique avec la soude.

Aux termes d'un décret du 11 de ce mois (1), dont je transmets une ampliation avec la présente, les modifications apportées par le décret du 5 novembre dernier au tarif du borax brut et mi-raffiné ne sont applicables qu'autant qu'il s'agit de borax natif. Quel que soit l'état dans lequel le borax artificiel est présenté, il reste passible des droits établis par la loi du 17 mai 1826. Cette loi continue aussi de régler le régime du borax raffiné, de toute origine.

Je prie les directeurs d'informer le service et le commerce de ces dispositions.

Le décret du 11 décembre a été inséré au Bulletin des lois du 23, n° 470. Il sera exécutoire dans les délais ordinaires de promulgation.

Le tableau ci-joint rappelle les taxes afférentes aux diverses qualités de borax natif et de borax artificiel.

Le directeur de l'administration des douanes,

Th^re GRÉTERIN,

---

(1) Voir le décret à sa date (11 décembre 1851), *suprà*, p. 725.

(Voir le tableau d'autre part.)

Tableau des modifications apportées au Tarif officiel par les décrets des 5 novembre et 11 décembre 1854.

DÉNOMINATION DES MARCHANDISES.				CLASSES du tarif.	UNITÉS sur lesquelles portent les droits.	TERMES de perception.	DROITS par navires français.	DROITS par navires étrangers et par terre.
Borax*(1)	*natif.* . .	brut ou mi-raffiné.	de l'Inde. . .	Produits chimiques.	100 kil. B.	5 nov. 1851, déc. 1854.	Exempt.	fr 6,00
			d'ailleurs. . .	*Idem.*	100 kil. B.	5 nov. 1851. déc. 1854.	fr. 3,00	
		raffiné.		*Idem.*	100 kil. N.	28 avril 1816.	180,00	191,50
	artificiel.	brut.	de l'Inde. . .	*Idem.*	100 kil. N.	17 mai 1826.	50,00	125,00
			d'ailleurs. . .	*Idem.*	100 kil. N.	17 mai 1826.	100,00	
		mi-raffiné. . .	de l'Inde. . .	*Idem.*	100 kil N.	17 mai 1826.	85,00	162,50
			d'ailleurs. . .	*Idem.*	100 kil. N.	17 mai 1826.	130,00	
		raffiné.		*Idem.*	190 kil. N.	28 avril 1816.	180,00	191,50

(1) Voir la note (426) du Tarif officiel.

Les deux derniers paragraphes de cette note indiquent les caractères distinctifs du borax natif *brut* et *mi-raffiné*. A l'état brut, le borax natif se reconnaît par l'enduit terreux dont ses cristaux sont revêtus. Le borax natif mi-raffiné ne vient que de la Chine. Il est mêlé d'une poussière blanche qui paraît argileuse.

A M.

Procès-verbaux de visite des mines dressés en 1851.

Paris, le 24 décembre 1851.

Monsieur le préfet, le moment est venu où vous avez à envoyer à l'administration centrale les procès-verbaux de visite des mines de votre département, dressés dans le cours de la présente campagne.

Je viens vous prier d'inviter M. l'ingénieur en chef des mines à vous remettre, s'il ne l'a déjà fait, ces procès-verbaux ainsi que le rapport d'ensemble qui doit les accompagner, et je vous serai obligé de m'adresser le tout le plus tôt possible avec les observations que vous auriez à ajouter.

Je ne puis du reste que me référer, en ce qui concerne cet objet important de la police souterraine, aux précédentes instructions de l'administration.

Recevez, monsieur le préfet, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Le ministre des travaux publics.
Pour le ministre et par autorisation :

Le chef de la division des mines,
Signé DE BOUREUILLE.

A M. le Préfet d

Personnel. — Mines.

Paris, le 10 janvier 1852.

Monsieur le préfet, j'ai l'honneur de vous adresser ampliation d'un décret du 24 décembre dernier (1), rendu en exécution de la loi du 5 juillet 1850 et relatif au corps des mines.

Les dispositions de ce décret s'expliquent d'elles-mêmes et ne comportent pas de commentaires; elles reproduisent à peu près textuellement, et sauf la différence des attributions, celles du décret du 13 octobre 1851, concernant le corps des ponts et chaussées.

Vous remarquerez que le décret ci-joint détermine, en ce qui concerne les *congés* des ingénieurs des mines, les mêmes règles que celles qui régissent le corps des ponts et chaussées, et qui ont fait l'objet d'une circulaire en date du 20 novembre 1851. Les prescriptions de cette

(1) Voir le décret à sa date (24 décembre 1851), p. 726.

circulaire sont donc de tout point applicables au corps des mines, et vous aurez à tenir la main à leur stricte exécution. Copie de ladite circulaire est transmise à MM. les ingénieurs des mines (1).

Le décret du 24 décembre statue également à l'égard des gardes-mines, et crée une nouvelle classe de ces agents secondaires au traitement de 2,000 francs par an. Cette disposition permettra d'améliorer successivement le sort des anciens serviteurs et sera pour tous les gardes-mines un nouveau motif d'émulation. J'ai la confiance qu'ils sauront reconnaître cette marque de la sollicitude de l'administration à leur égard.

Je vous prie de m'accuser réception de la présente, dont j'adresse ampliation à MM. les ingénieurs.

Recevez, monsieur le préfet, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Le ministre des travaux publics.
Signé MAGNE.

---

(1) Voir cette circulaire à sa date, p. 774.

PERSONNEL.

Décisions intervenues pendant le 2e semestre de 1851.

DÉCRETS DU PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE.

Décret du 14 octobre. — M. de Bonnard, inspecteur général des mines de première classe, est admis à faire valoir ses droits à la retraite, en vertu de l'arrêté du gouvernement, du 20 mars 1848, qui limite à soixante-dix ans l'âge auquel les inspecteurs généraux cesseront de faire partie du cadre d'activité.

Décret du 14 octobre. — En vertu de la même disposition, M. Migneron, inspecteur général de première classe, a été également admis à faire valoir ses droits à la retraite.

Décret du 14 octobre. — M. Dufrénoy, inspecteur général de deuxième classe, est nommé inspecteur général de première classe, en remplacement de M. de Bonnard, admis à faire valoir ses droits à la retraite.

— M. Élie de Beaumont, inspecteur général de deuxième classe, est nommé inspecteur général de première classe, en remplacement de M. Migneron, admis à faire valoir ses droits à la retraite.

— M. Juncker, ingénieur en chef de première classe, est nommé inspecteur général des mines de deuxième classe, en remplacement de M. Dufrénoy, promu à la première classe.

Décret du 25 octobre. — Sont nommés élèves ingénieurs des mines, les élèves sortant de l'École polytechnique dont les noms suivent :

MM. Huyot 2 (*),
Martelet 4,
Laugel 6,
Dormoy 7,
Laur 8.

(*) Ce numéro indique le rang de l'élève sur la liste générale de sortie de l'École polytechnique.

Décret du 26 octobre. — M. Lacrosse, vice-président de l'assemblée nationale, est nommé ministre des travaux publics, en remplacement de M. Magne dont la démission est acceptée.

Décret du 10 novembre. — La pension de retraite accordée à M. Migneron, inspecteur général de première classe, est réglée à 6.000 fr.

Décret du 14 novembre. — La pension de retraite accordée à M. de Bonnard, inspecteur général de première classe, est réglée à 6.000 fr.

Décret du 3 décembre. — M. Magne est nommé ministre des travaux publics en remplacement de M. Lacrosse.

Décret du 9 décembre. — M. Bineau, ingénieur en chef des mines de première classe, est nommé inspecteur général de deuxième classe.

Décret du 13 décembre. — M. Benoit, ingénieur ordinaire de deuxième classe, professeur à l'École des mineurs de Saint-Étienne, est révoqué. Il sera en conséquence rayé du cadre des ingénieurs du corps des mines.

DÉCISIONS MINISTÉRIELLES.

2e semestre de 1851.

Décision du 3 juillet. — M. Jacquot, ingénieur ordinaire des mines, appelé par décision du 29 mars, à la résidence de Mézières, reste chargé du service du sous-arrondissement minéralogique de Metz.

— M. Hanet-Cléry, ingénieur ordinaire, désigné pour le poste de Metz, est chargé du sous-arrondissement minéralogique de Rouen.

— M. Bère, ingénieur ordinaire, à Rouen, est chargé du sous-arrondissement minéralogique de Mézières.

Décision du 4 août. — MM. Orsel, Duchanoy et Fayard, élèves ingénieurs de deuxième classe, sont promus à la première classe.

Décision du 14 septembre. — Le service de surveillance des appareils à vapeur du département de la Charente, confié jusqu'à ce jour aux ingénieurs des Ponts-et-Chaussées du département, est réuni au service ordinaire du sous-arrondissement minéralogique de Périgueux.

Décision du 15 octobre. — M. Lorieux, ingénieur en chef, chargé du service des appareils à vapeur de la Seine, est chargé de l'arrondissement minéralogique de Paris et du service spécial des carrières du département de la Seine, en remplacement de M. Juncker, promu au grade d'inspecteur général.

— M. de Billy, ingénieur en chef, à Strasbourg, est chargé du service des appareils à vapeur du département de la Seine et des fonctions de secrétaire de la commission centrale des machines à vapeur, en remplacement de M. Lorieux.

Décision du 25 octobre. — M. Chéron, inspecteur général, est chargé de la division minéralogique de l'Ouest, en remplacement de M. Migneron.

— M. Combes, inspecteur général, est chargé de la division du Sud-Est, en remplacement de M. de Bonnard.

— M. Juncker, inspecteur général, est chargé de la division du Nord-Est, confiée précédemment à M. Combes.

Décision du 3 novembre. — Chaque année l'élève ingénieur, sorti le premier de sa promotion de l'École des mines, sera attaché, pour une année seulement, au conseil général des mines.

Il remplira auprès de ce conseil et eu égard à la nature de ses attributions, les fonctions confiées à l'élève ingénieur attaché au conseil général des Ponts-et-Chaussées.

Il sera considéré comme élève en mission, et recevra, à ce titre, une allocation mensuelle de 50 fr., en sus de son traitement.

Décision du 12 novembre. — M. Blavier, ingénieur en chef, en réserve, est chargé du service de l'arrondissement minéralogique de Strasbourg, en remplacement de M. de Billy.

Décision du 13 novembre. — Le poste de garde-mines établi à Briançon (Hautes-Alpes) est transféré à Grenoble.

Décision du 3 décembre. — M. Bère, ingénieur ordinaire des mines, à Mézières, est chargé du service du sous arrondissement minéralogique de Troyes, comprenant les départements de la Marne, de l'Aube et de l'Yonne.

M. Furiet, ingénieur ordinaire, professeur à l'École des mineurs de Saint-Étienne, est chargé du sous-arrondissement minéralogique de Mézières.

Décision du 11 *décembre.* — M. Bineau, inspecteur général, est chargé de la division minéralogique de l'Est, confiée précédemment à M. Chéron.

Décision du 19 *décembre.* — M. Bochet, ingénieur ordinaire à Guéret, est chargé du service du sous-arrondissement minéralogique de Nantes.

Décision du 26 *décembre.* — Un congé illimité est accordé à M. J. Reynaud, ingénieur ordinaire, chargé du cours de législation des mines à l'École des mines.

Décision du 27 *décembre.* — M. Dubois, élève ingénieur de première classe, est chargé du cours de préparation mécanique, d'exploitation et de construction à l'École des mineurs de Saint-Étienne, en remplacement de M. Furiet.

— M. Parran, élève ingénieur de première classe, est chargé du cours de minéralogie et de géologie, à la même École, en remplacement de M. Benoit.

Décision du 31 *décembre.* — M. Garella, ingénieur en chef des mines de première classe, en Algérie, est mis en non-activité par retrait d'emploi.

Élèves externes à l'École nationale des mines.

Décision du 16 *novembre.* —Sur la proposition du conseil des Ecoles de mines, sont nommés élèves de l'année préparatoire, les candidats dont les noms suivent :

MM. 1. Mony,
2. Jouguet,
3. Carpentier,
4. Monnod,
5. Lemonnier,
6. Bastide,
7. Valton (Paul),
8. Lamé,
9. Touzelin,
10. Pigneguy,
11. Beudin,
12. Perret,
13. Valton (Ferdinand),
14. Armand,
15. Dombrowski.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME XX.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

CHIMIE.

MÉTALLURGIE ET MINÉRALURGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

CONSTRUCTION ET CHEMINS DE FER.

OBJETS DIVERS.

BULLETIN.

ADMINISTRATION.

FAUTES ESSENTIELLES A CORRIGER.

Pages.

220 première colonne de différences, vers le bas, 359, *lisez :* 358.

259 cinquième ligne en remontant, 4 mètres, *lisez :* 3 mètres.

260 première colonne de différences, vers le milieu, 145, *lisez :* 146.

261 première colonne de différences, vers le haut, 431, *lisez :* 430.

262 deuxième colonne de différences, vers le milieu, le second 102, *lisez :* 101.

275 première colonne $Q^{\frac{21}{53}}$, troisième ligne en remontant, 0,3069, *lisez :* 0,5069.

277 ligne 10, $Q^{\frac{23}{53}}$, *lisez :* $Q^{\frac{21}{53}}$.

293 au bas, formule (44), au numérateur, $\frac{\Omega^2}{\omega^2}$, *lisez :* $\frac{\Omega^2}{\omega^3}$.

295 dernière ligne avant la note, $-\frac{gH}{\alpha U^2}$, *lisez :* $-\frac{\alpha U^2}{gH}$.

303 dernière ligne, 3,24013, *lisez :* 3,16013.

310 colonne des différences, partie affectée de $\frac{\alpha U^2}{gH}$.

— vis-à-vis l'intervalle des nombres 0,06 et 0,05 de la première colonne, 690, *lisez :* 682.

— vis-à-vis l'intervalle suivant, 156, *lisez :* 154.

325 deuxième colonne de différences, au haut, 43, *lisez :* 45.

326 deuxième colonne, vis-à-vis 0,030 de la première, 4,0463, *lisez :* 4,0465.

— cinquième colonne de différences, 209 (entre 184 et 215), *lisez :* 199.

327 sixième colonne, vis-à-vis 0,42 de la première, 0,554, *lisez :* 0,654.

328 quatrième colonne de différences, vers le haut, 143 (entre 137 et 154), *lisez :* 145.

354 deuxième colonne, vis-à-vis 36 de la première, 2,5156, *lisez :* 2,4156.

360 minerai carbonaté des houillères, argile, 73,15, *lisez :* 13,15.

362 septième ligne, grosse, *lisez :* grenue.

366 sixième ligne en remontant, 3 0/0, *lisez :* 2 0/0.

367 vingt-cinquième ligne, 2 gr. 0249, *lisez :* 0 gr. 046.

439 septième ligne, renoncer, *lisez :* revenir.

490 deuxième note au bas de la page, ou de compression, *lisez :* ou de glissement.

PLANCHES JOINTES AU TOME XX

DE LA 4e SÉRIE DES ANNALES DES MINES.

Pl. XVIII.

Fig. 1 et 2. Coupes verticale et horizontale d'un fourneau à cuivre du Mansfeld.

Fig. 3, 4, 5. Coupes verticales et horizontales d'un fourneau à cuivre de l'ancien modèle.

Fig. 6, 7, 8, 9, 10. Coupes verticale, horizontale, et élévation d'un fourneau de fonte crue employé à l'usine de Kupferkammerhütte (Mansfeld).

Pl. XIX.

Fig. 1, 2, 3. Coupes verticales et plan d'une machine soufflante (cagniardelle) employée à l'usine de Mittelhütte (Mansfeld).

Fig. 4. Élévation et coupe de la roue hydraulique indiquée sur les figures précédentes.

Pl. XX.

Fig. 1, 2, 3. Coupes verticale, horizontale, plans des deux étages d'un atelier d'extraction de l'argent établi à l'usine de la Mulde (Freiberg).

Fig. 5. Détail d'un tonneau d'extraction.

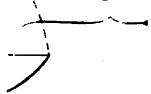
Fig. 6, 7, 8. Coupes horizontale, verticale et élévation latérale d'un four à réverbère employé à l'usine de Saigerhütte (Mansfeld) pour l'affinage du cuivre noir.

FIN DU TOME XX.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET C,
26, rue Racine.

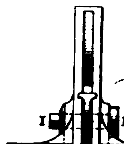
Taquets m

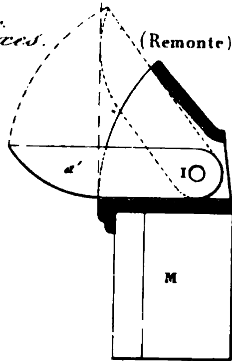
Fig. 2.



Taquets fixes.

Fig. 3.





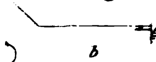
Machine d'Extraction de Mr. Méhu

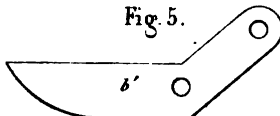
Taquets fixes. (Descente).

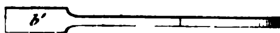
Fig. 5.

uets mobile

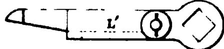
Fig. 4.

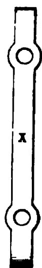




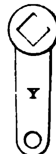














V. pages 9 et suiv.

Lemaitre sc.

Fig. 1. Élévation latérale.

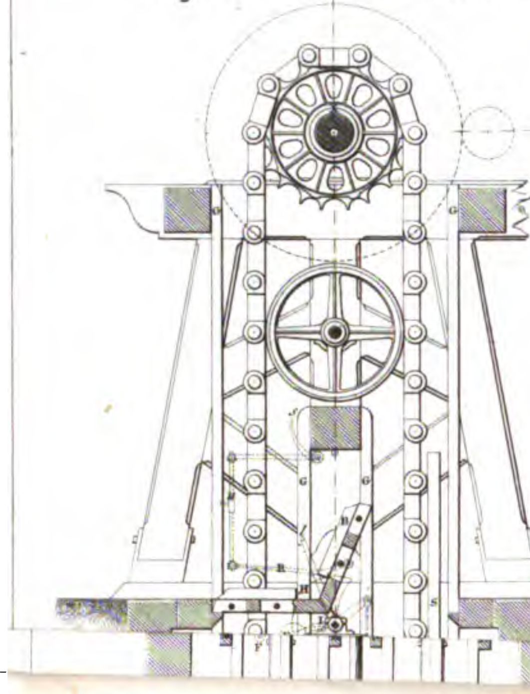
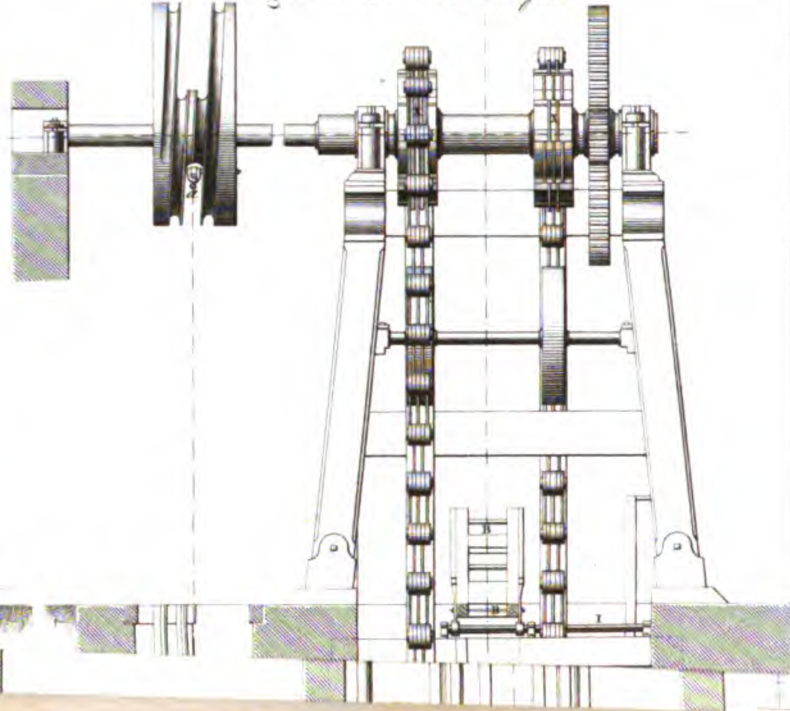


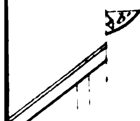
Fig. 2. Élévation de face.



Lemaitre sc.

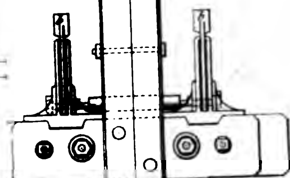
Fig. 3.

Fig. 5.

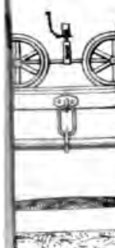


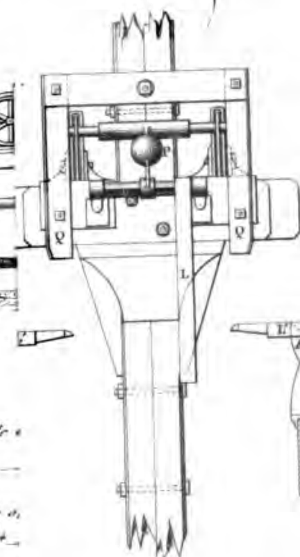


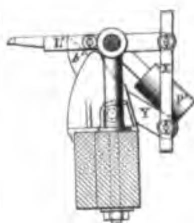


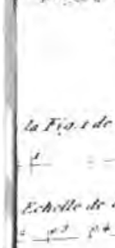


Élévation latérale.









Machine d'extraction de M.r Méhu.

Lemaître sc.

Fig. 11.

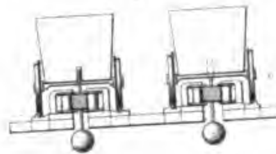


Fig. 7.



Fig. 6.

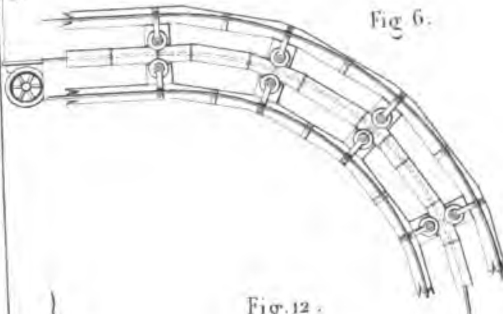
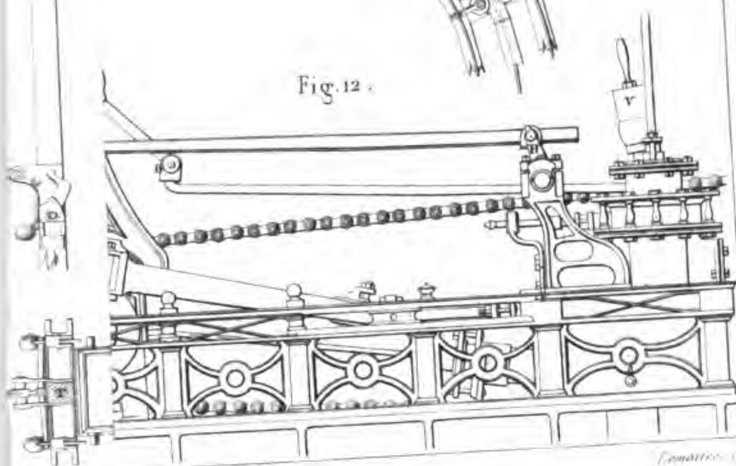


Fig. 12.



Lemaitre sc.

Série To

Arbre du contre-poids







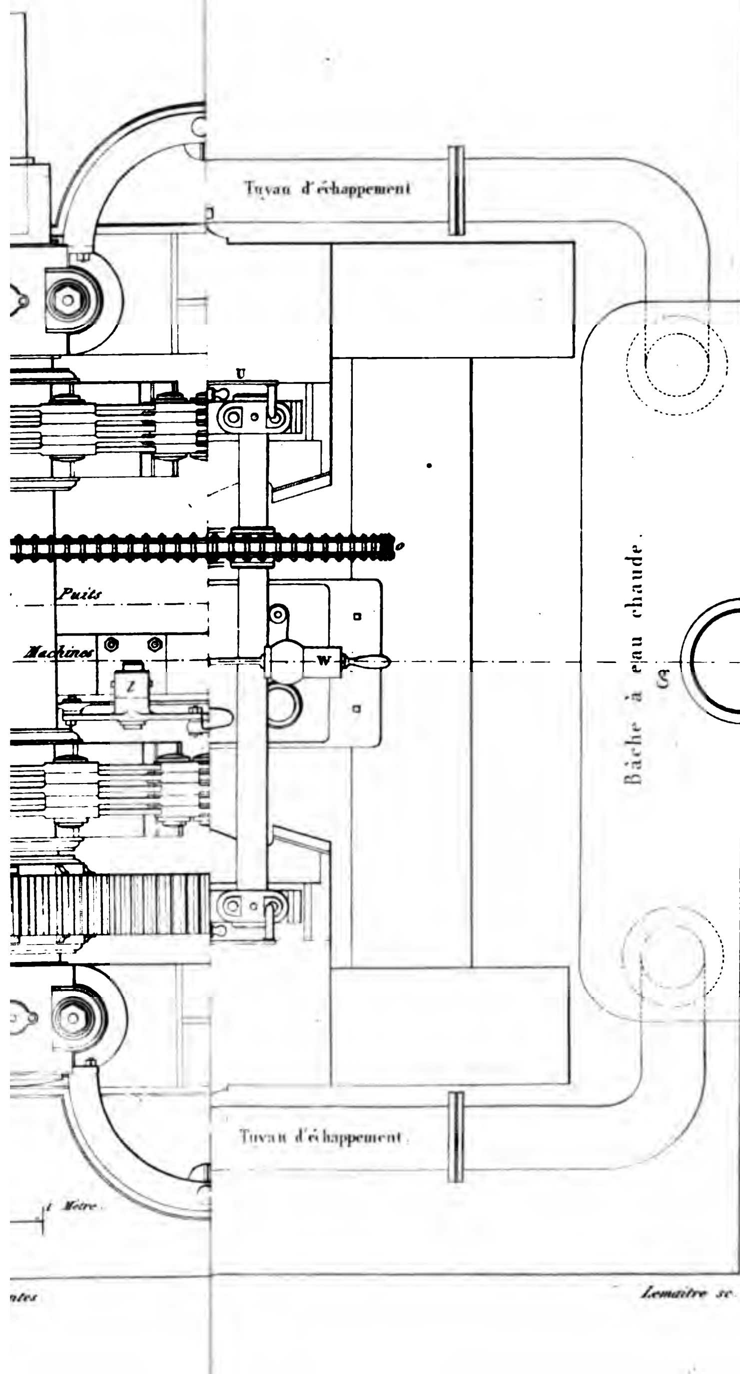






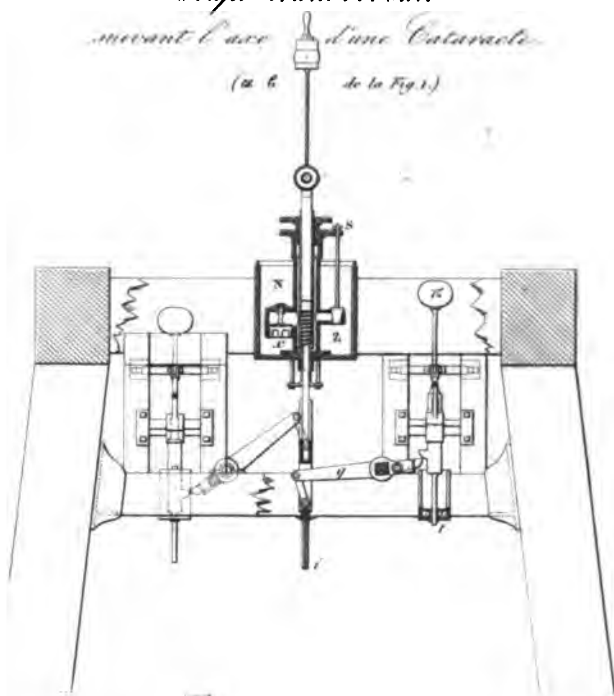


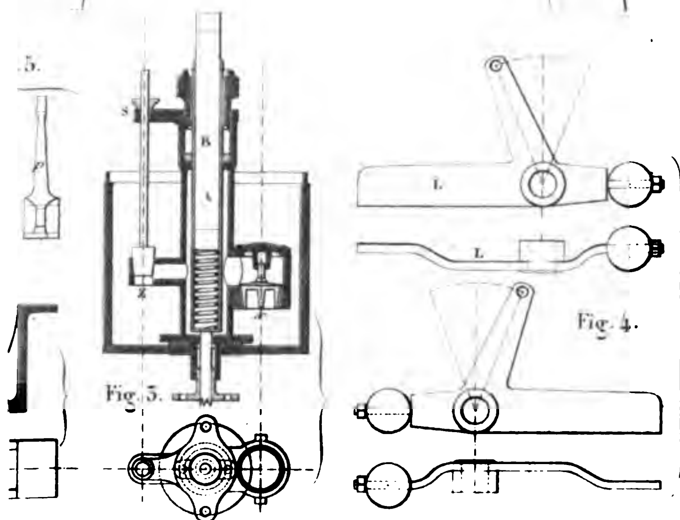




ntes

Lemaître sc.


Fig. 2.
Coupe transversale
suivant l'axe d'une Cataracte
(a b de la Fig. 1.)
N
Z
π
q
t

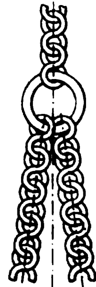

B
A
Z
L
L
Fig. 3.
Fig. 4.

Lemaitre sc.

Pl. VII

Machine d'extraction de Mr. Méhu.

Système du contre-poids.



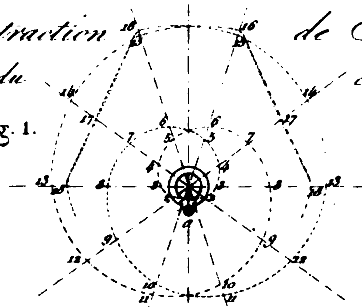
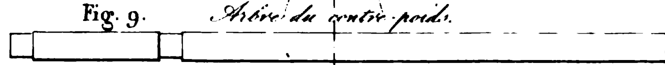


Fig. 1.



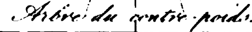
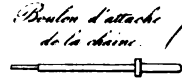


Fig. 9. Arbre du contre-poids.



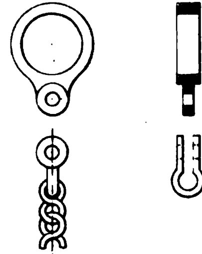


Fig. 8. Boulon d'attache de la chaîne. Bride d'attache de la chaîne.

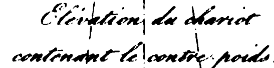


Fig. 3. Élévation du chariot contenant le contre-poids. Coupe par MN.

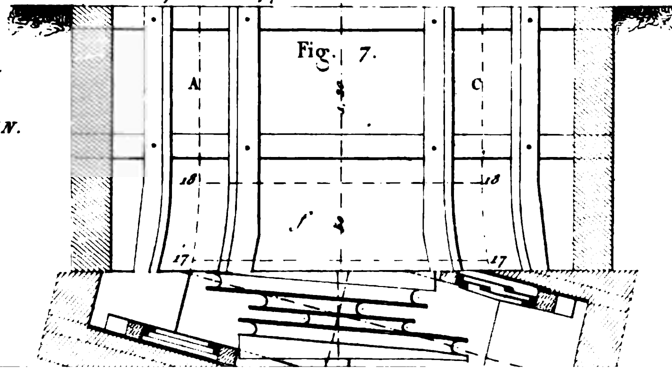


Fig. 7. Coupe de la fosse suivant l'axe CD de la Fig. 2.

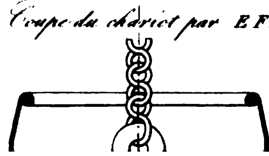
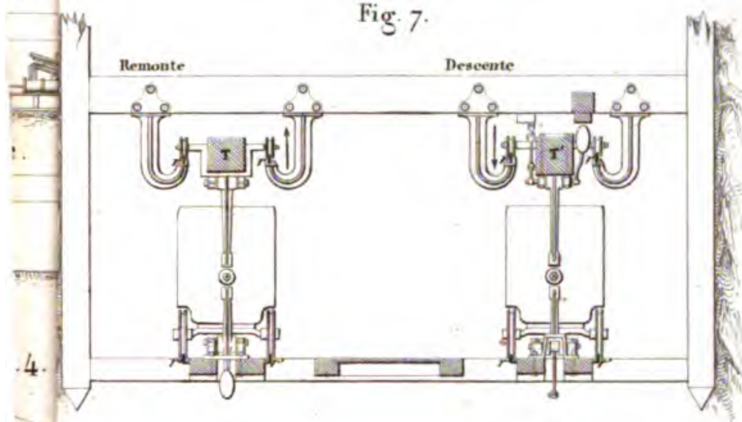


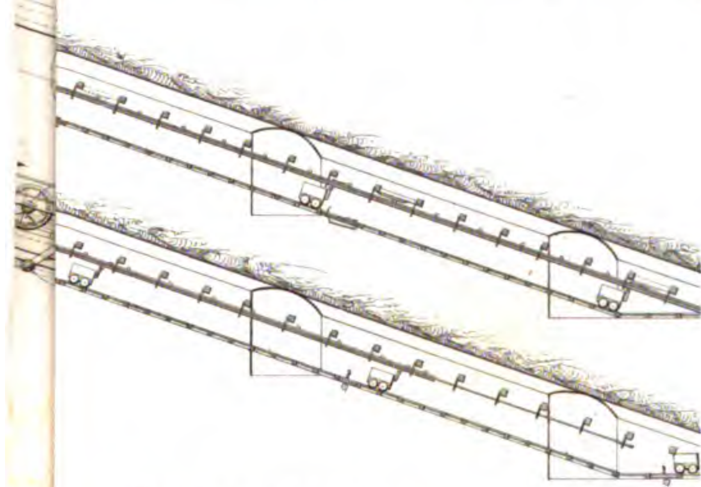
Fig. 5. Coupe du chariot par EF.

Lemaitre sc

1.

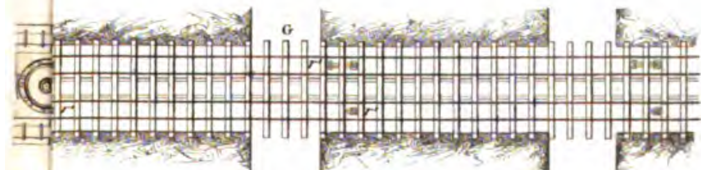


.4.



Echelle des Fig. 1 à 3 de 0m 003 pour mètre.





rie.

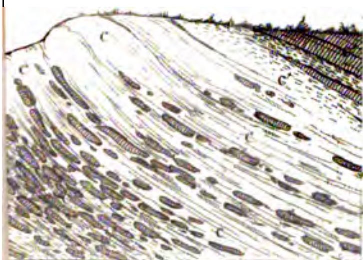
Lemaitre sc

...es des Vosges.

...ne chaudière à vapeur.

Fig. 12. Carrière du S.t ...

C' Calcaire très micacé passant au gneiss G;



...parallèles à la schistosité du calcaire C

... ne lui sont pas parallèles.



Fig. 22.

d Druse avec albite, actinote, asbeste, sphène; a actinote.

...20. Grenat traversé par une fissure a a'; ...rtie rouge de ce grenat; v partie verte bordant la ...ure a a' et contenant des lamelles de chlorite c.

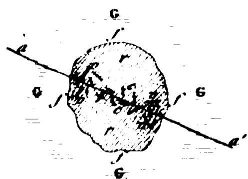


Fig. 2.

Coupe verticale par EF de la Fig. 3



...rticale par CD de la Fig. 2



...izontale par AB de la Fig. 2.



Fig. 7.

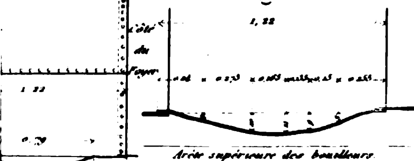
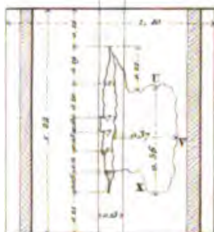
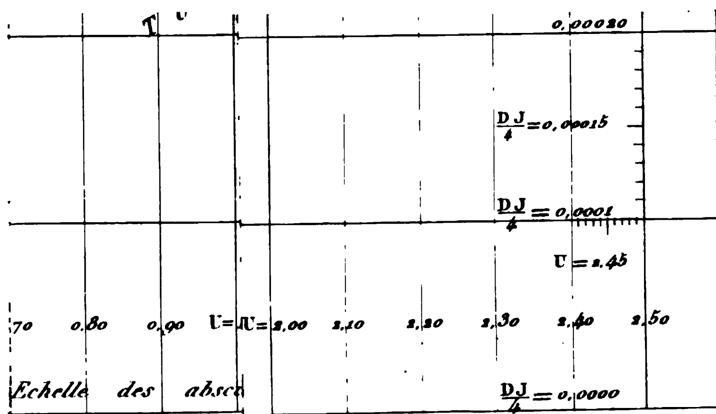


Fig. 8.



...Fig. 1 de 0.m 002 pour mètre.

...3 à 4 de 0.m 007 pour mètre.


0,00020
DJ/4 = 0,00015
DJ/4 = 0,0001
U = 1,45
70
0,80
0,90
U=
U= 1,00
1,10
1,20
1,30
1,40
1,50
Echelle des absc
DJ/4 = 0,0000
tes.
Lemaitre sc.

Lemaitre sc.



Fig. 6.

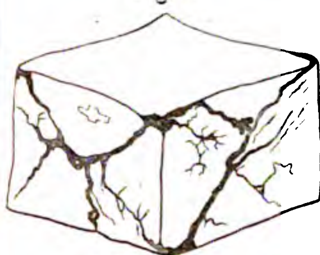
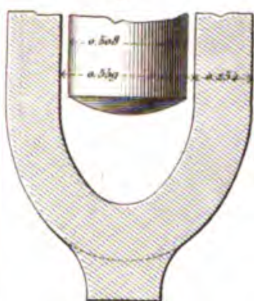


Fig. 3.



.16.

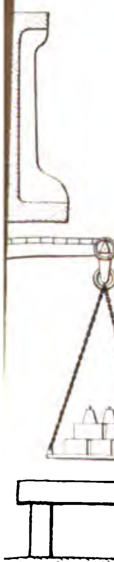


Fig. 15.





Fig. 11.

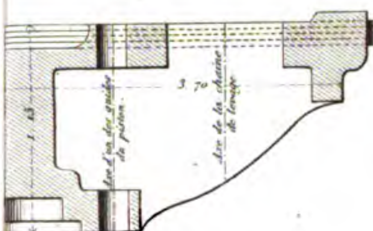


Fig. 12.

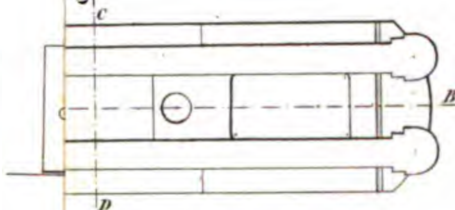
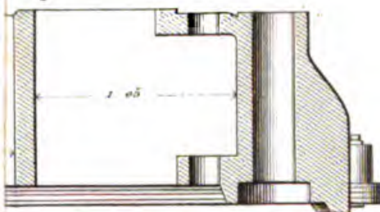


Fig. 13.



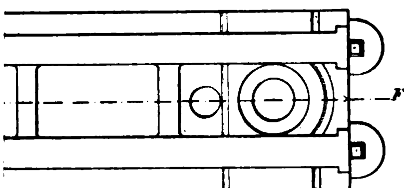


Fig. 21.

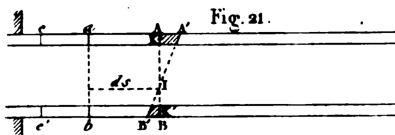
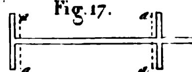
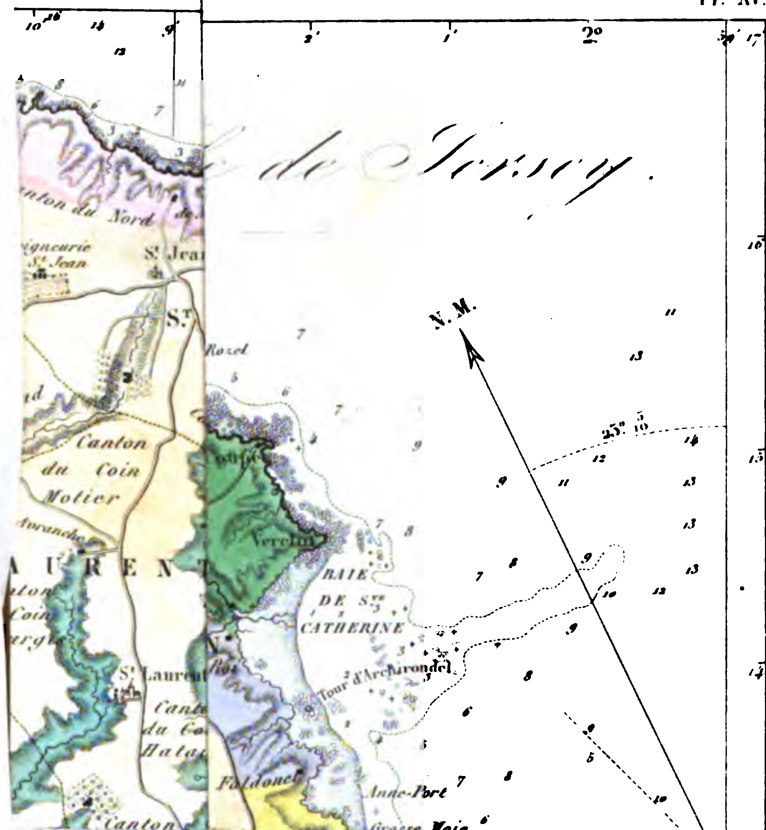


Fig. 17.



GÉOL

Pl. XV.



de Jersey.
N. M.
2°
Canton du Nord
St. Jean
St. Jean
Rozel
Canton du Coin Motier
AURENT
Verclut
BAIE DE STE CATHERINE
Tour d'Archirondel
St. Laurent
Anne-Port
Canton

ton pour
...ix Min...
(C...

Vue de face.

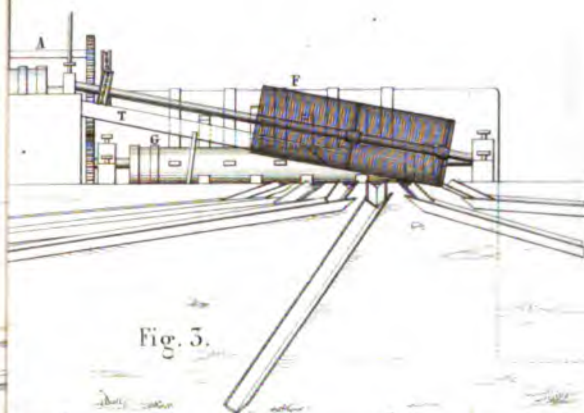
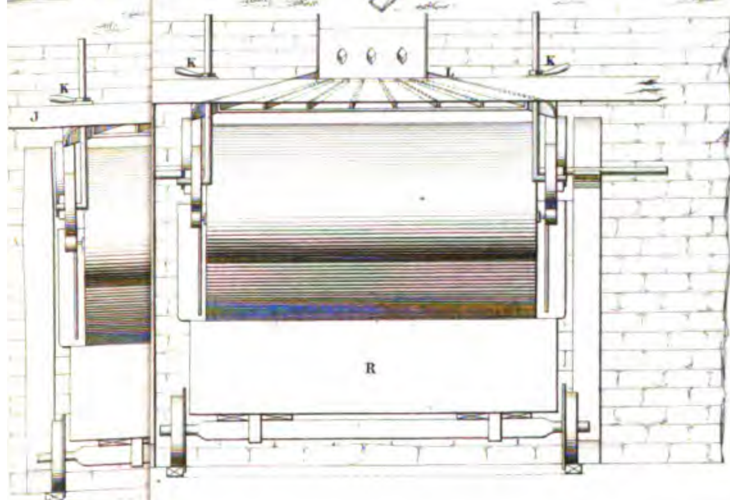


Fig. 3.

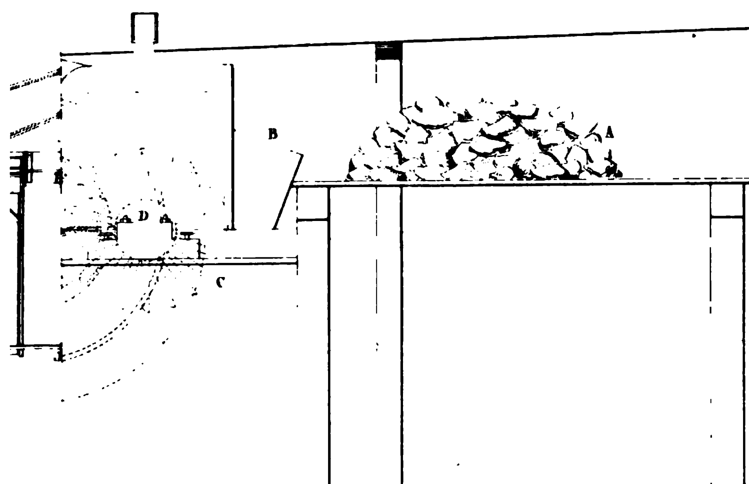


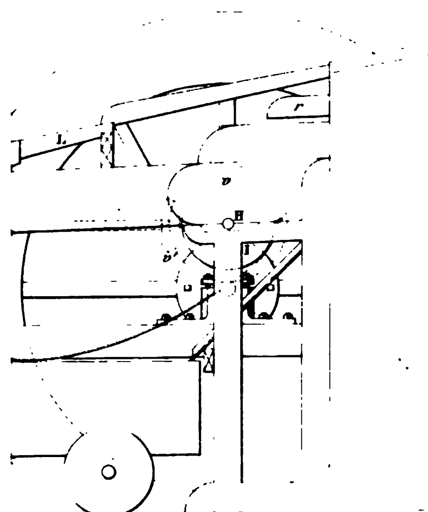
Lemaître sc

...ière.

Fig. 2.

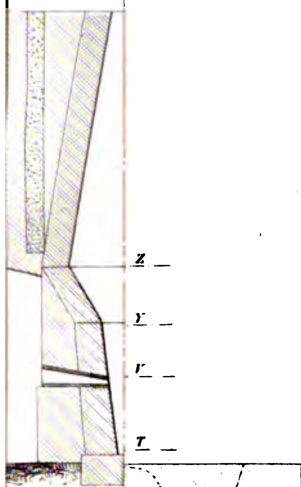
...d'un côté de l'appareil de distribution.





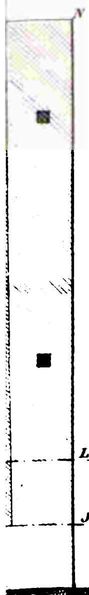
Échelle des Fig. 2 et 3.

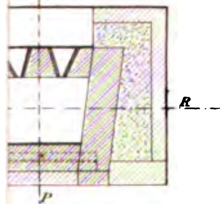


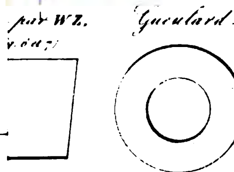




par EF.







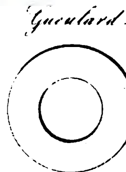


Fig. 7. Coupe verticale par QR. (des Fig. 6 et 9.)

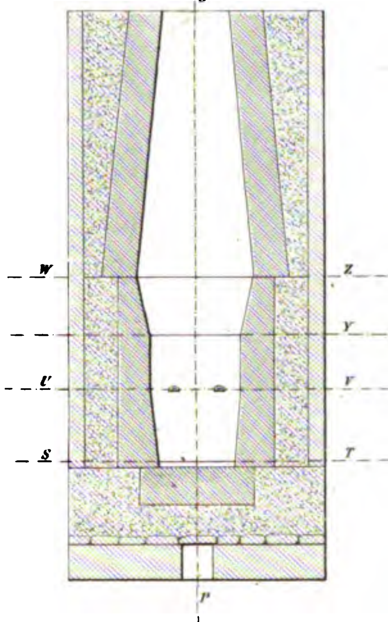
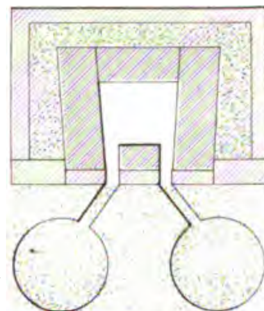
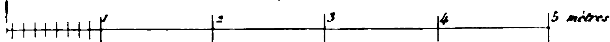


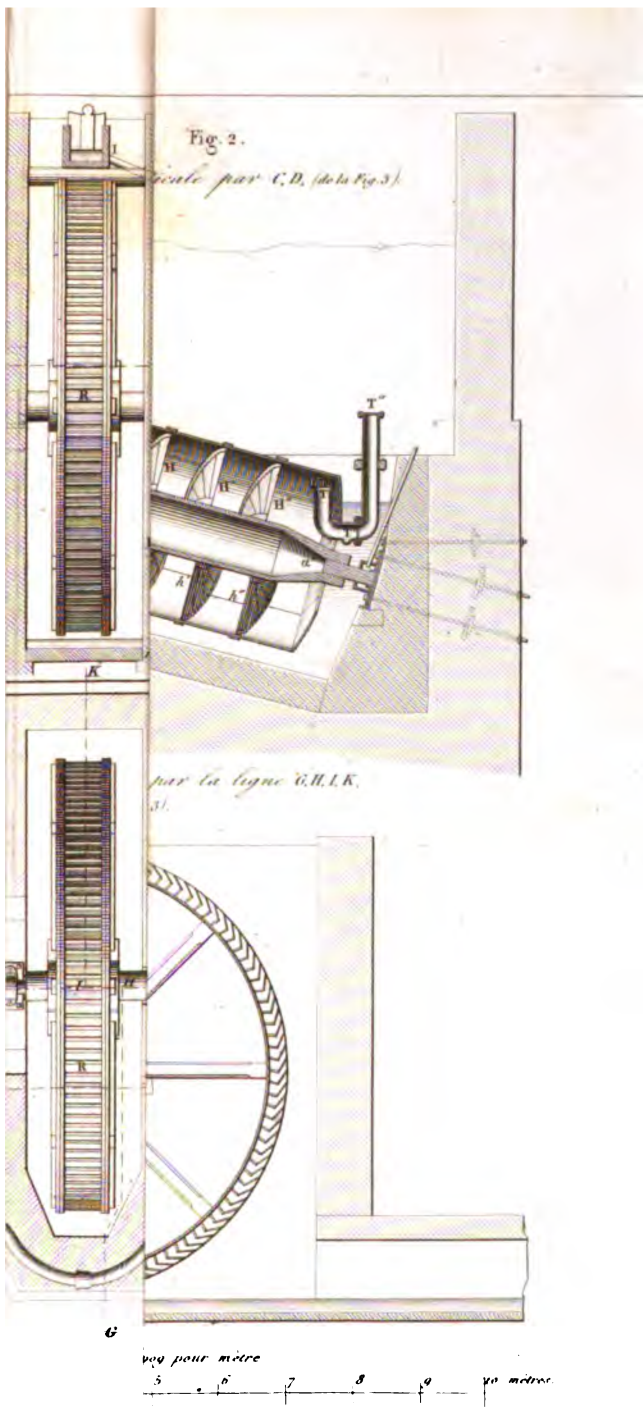
Fig. 10. Coupe horizontale par ST. (des Fig. 6 et 7.)



Echelle de 0m,015 pour mètre.

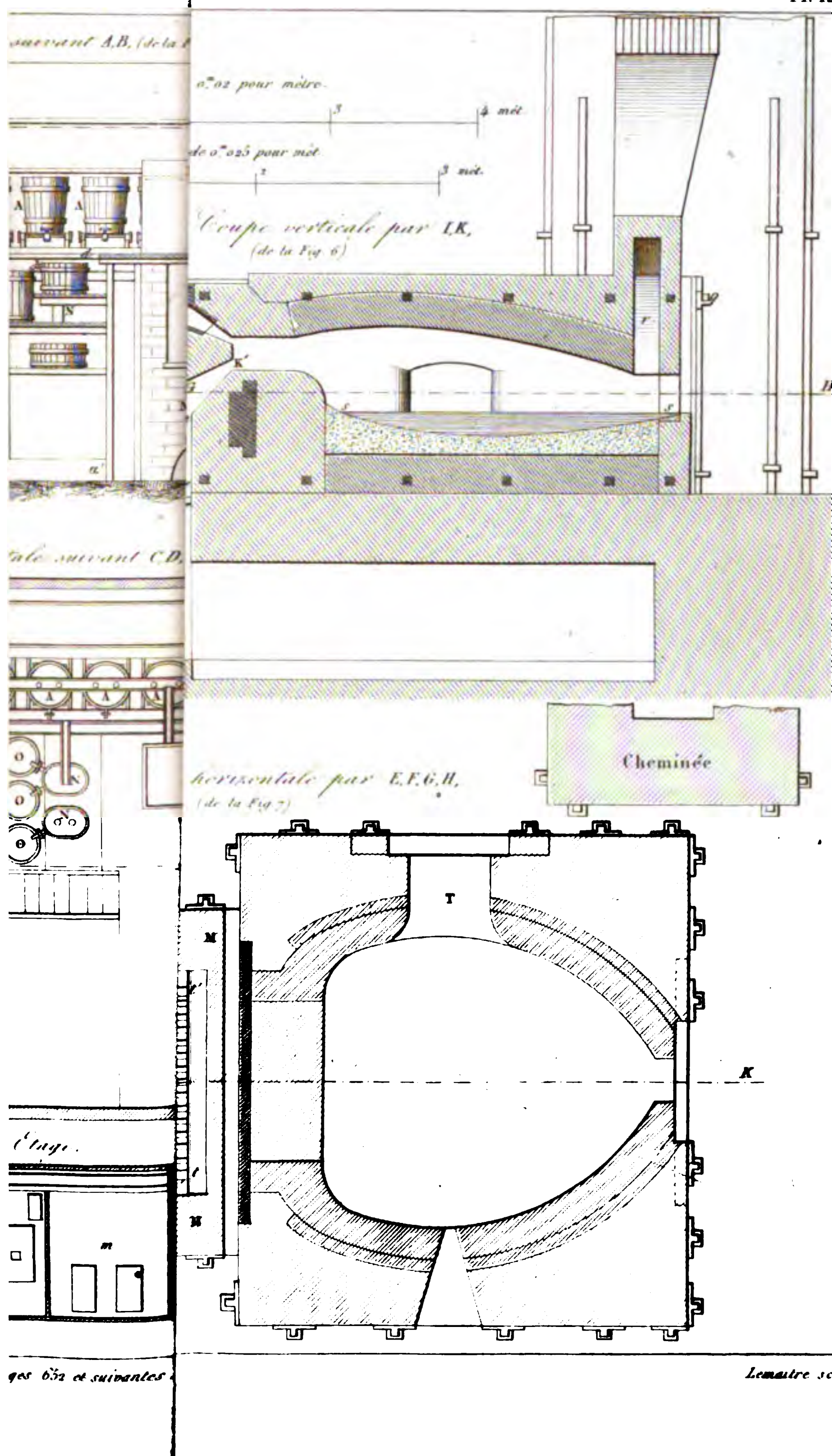


Lemaitre sc



X. pages 307 et

Lemaitre sc


suivant A.B. (de la F
0m.02 pour mètre.
3
4 mèt.
de 0m.025 pour mèt.
2
3 mèt.
Coupe verticale par I.K.
(de la Fig. 6)
tale suivant C.D.
horizontale par E.F.G.H.
(de la Fig. 7)
Cheminée
T
M
K
Étage.
m

Lemaitre sc